



TUGAS AKHIR – TF 141581

**STUDI NUMERIK PENGARUH JUMLAH *HYDROFOIL*
TERHADAP KARAKTERISTIK TURBIN ARUS LAUT
VERTIKAL AKSIS JENIS *STRAIGHT BLADE* BERBASIS
*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

**FAHMI IMANUDDIN
NRP 2411 100 003**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.**

**JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**



FINAL PROJECT – TF 141581

**NUMERICAL STUDY THE EFFECT OF NUMBER
HYDROFOIL ON THE CHARACTERISTIC OF
VERTICAL AXIS MARINE CURRENT TURBINE TYPE
STRAIGHT BLADE WITH ON COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMIC**

**FAHMI IMANUDDIN
NRP 2411 100 003**

**Supervisor
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.**

**ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016**

LEMBAR PENGESAHAN
STUDI NUMERIK PENGARUH JUMLAH *HYDROFOIL*
TERHADAP KARAKTERISTIK TURBIN ARUS LAUT
VERTIKAL AKSIS JENIS *STRAIGHT BLADE*
BERBASIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

TUGAS AKHIR

Oleh :
FAHMI IMANUDDIN
NRP. 2411 100 003

Surabaya, Februari 2016
Mengetahui / Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
NIP. 19761223 200501 1 001

Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.
NIP. 19880710 201504 2 001

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI – ITS



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D
NIP. 19780902 200312 1 002

LEMBAR PENGESAHAN
STUDI NUMERIK PENGARUH JUMLAH *HYDROFOIL*
TERHADAP KARAKTERISTIK TURBIN ARUS LAUT
VERTIKAL AKSIS JENIS *STRAIGHT BLADE*
BERBASIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

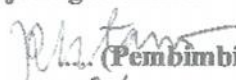
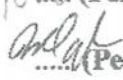

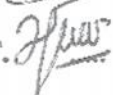
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FAHMI IMANUDDIN
NRP 2411 100 003

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.  (Pembimbing I)
2. Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.  (Pembimbing II)
3. Dr. Ir. Purwadi Agus D., M.T.  (Penguji I)
4. Herry Sufyan Hadi, S.T., M.T.  (Penguji II)

SURABAYA
JANUARI 2016

**STUDI NUMERIK KARAKTERISTIK TURBIN ARUS
LAUT VERTIKAL AKSIS JENIS *STRAIGHT BLADE*
DENGAN *CASCADE HYDROFOIL* BERBASIS
*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

Nama Mahasiswa : Fahmi Imanuddin
NRP : 2411 100 003
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
2. Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.

Abstrak

Torsi merupakan salah satu karakteristik dari turbin arus laut. Torsi sebanding dengan gaya yang mendorong benda bergerak. Pada penelitian ini dilakukan simulasi untuk mengetahui pengaruh jumlah *hydrofoil* terhadap karakteristik turbin arus laut vertikal aksis tipe *straight blade*. Terdapat tiga jenis model turbin yang disimulasikan, yaitu turbin 3 *hydrofoil* (model 1), turbin 6 *hydrofoil* dengan *cascade* 2 (model 2) dan turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade* 3 (model 3). Setiap model dilakukan simulasi dengan variasi kecepatan aliran 0,5; 1 dan 1,5 m/s. Berdasarkan hasil simulasi, nilai gaya dan torsi yang dihasilkan oleh turbin model 3 lebih besar dibandingkan dengan model lainnya. Gaya yang dihasilkan turbin terjadi karena tekanan dari fluida terhadap turbin, sehingga nilai gaya sebanding dengan besarnya tekanan. Pada turbin model 3 luasan area lebih besar dibandingkan model lainnya yang menyebabkan banyak tekanan yang didapatkan. Profil aliran kontur tekanan dan *streamline* kecepatan pada turbin merupakan fenomena aliran yang tidak dapat dilihat pada uji eksperimen, serta menjelaskan tekanan yang didapatkan dari fluida.

Kata kunci : gaya, torsi, jumlah *hydrofoil*, *cascade*, tekanan

**PERFORMANCE ANALYSIS OF VERTICAL AXIS
MARINE CURRENT TURBINE TYPE STRAIGHT
BLADE WITH CASCADE HYDROFOIL BASED ON
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC**

Name : Fahmi Imanuddin
NRP : 2411 100 003
Departement : Engineering Physics FTI-ITS
Supervisors : 1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
2. Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.

Abstract

Torque is one of the characteristics from ocean current turbine. Torque is proportional to the force that drives the moving objects. This research conducted a simulation to determine the effect of the number of hydrofoil on the characteristics of the vertical axis ocean current turbine straight blade type. There are three types of models which are simulated turbine 3 hydrofoil (model 1), the turbine 6 hydrofoil to cascade 2 (model 2) and the turbine 9 hydrofoil with cascade 3 (model 3). Every models simulated by varying the flow rate of 0.5; 1 and 1.5 m / s. Based on simulation results, the value of the force and torque produced by the turbine model 3 is greater than the other models. The resulting force of turbine caused by the pressing of the fluid on the turbine. Hence, the value of the proportional force is equal to the number of pressure. At the turbine model 3 that area larger than other models which obtain much pressure. Flow profile pressure countours and streamlined speed on turbine are phenomena that can not be seen in the experimental, and determine the pressure which is obtained by fluid.

Key words : force, torque, the number of hydrofoil, cascade, pressure

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini. Shalawat dan salam juga penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad S.AW sebagai sebaik-baik suri tauladan dan yang telah membawa umat manusia dari zaman kebodohan ke zaman yang terang dan penuh hikmah, para sahabat dan keluarganya. Penelitian tugas akhir ini berjudul ***“Studi Numerik Pengaruh Jumlah Hydrofoil terhadap Karakteristik Turbin Arus Laut Vertikal Aksis Jenis Straight Blade Berbasis Computational Fluid Dynamics”***.

Disadari atau tidak, dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan pertolongan dan dorongan moril dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Iin Sundaningsih dan Dedi Supriyatna yang telah berjuang serta tidak terhitung jasa dan pengorbanannya dalam mengasuh dan mendidik penulis. Kedua orang tua penulis pula yang tiada henti-hentinya memberikan do'a dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan pendidikan pada program studi S1 Teknik Fisika ITS.
2. Adik-adik penulis (Azmy Salamuddin, Yasmi Mauluddin dan Khatami Fahziyas) dan keluarga besar penulis, yang telah memberikan semangat, motivasi, dan do'a kepada penulis.
3. Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
4. Ir. Heru Setijono, M.Sc. dan Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku Dosen Wali penulis yang telah banyak

- membimbing dan mendidik penulis selama mengenyam pendidikan di program studi S1 Teknik Fisika - ITS.
5. Dr. Ridho Hantoro, ST, MT. dan Nur Laila Hamidah, ST, MSc. selaku Dosen Pembimbing yang tidak kenal lelah dalam mendidik, membimbing dan memberi motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
 6. Ir. Sarwono, MMT. selaku kepala Laboratorium Rekayasa Energi yang telah memberikan dukungan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
 7. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah banyak memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan jenjang kuliah sampai Tugas Akhir ini.
 8. Tim Turbin Arus Laut (Seno, Abdi, Zain, Erna, Elfa, Aam, Iwang, Mas Fahmi) yang telah membantu dalam selesainya tugas akhir ini.
 9. Tirta Darma PDAM Kota Pasuruan dan para pegawai PDAM Umbulan (Pak Antok, Isa, Warno dan Pak Agus) yang bersedia memberikan izin untuk melakukan uji turbin di Umbulan.
 10. Putri Adenary Ciptaningrum, yang telah memberikan dukungan semangat dan bantuan format penulisan tugas akhir ini.
 11. Teman-teman KSE energi yang selalu menemani di laboratorium rekayasa energi selama pengerjaan tugas akhir.
 12. Sahabat kontrakan asem paying dan pandugo (Mufti, Rengga, Mambaul, Reza, Albertus, Rozakur, Seno, Eben, Hiskia, dan Yopi) yang telah memberikan bantuan berupa masukan, doa dan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
 13. Angkatan 2011 Teknik Fisika ITS (F45) yang telah memberikan banyak pengalaman, pelajaran, kebahagiaan

dan arti perjuangan dalam masa perkuliahan. Semoga kesuksesan dan kebermanfaatan selalu menyertai kita.

14. Semua pihak yang belum disebutkan namun telah memberikan bantuan, semangat, serta do'anya. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian dengan sesuatu yang jauh lebih baik lagi.

Demikian laporan ini dibuat, penulis menerima segala kritik dan saran yang membangun demi kebaikan bersama. Semoga laporan penelitian tugas akhir ini dapat memberikan manfaat.

Surabaya, 26 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
Abstrak	v
<i>Abstract</i>	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
KATA PENGANTAR	xvi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan	5
1.6 Manfaat	6
1.7 Sistematika Laporan	6
BAB II	9
TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Dinamika Arus Laut	9
2.2 Turbin Arus Laut	9
2.3 Konsep Gaya Angkat (<i>lift</i>) dan Gaya Hambat (<i>drag</i>) pada Turbin	11
2.4 NACA <i>Airfoil</i>	13
2.5 Separasi Aliran pada <i>Airfoil</i>	15
2.6 <i>Passive Pitch</i>	16
2.7 Simulasi Berbasis CFD (<i>Computational Fluid Dynamic</i>)	17

BAB III	19
METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Diagram Alir Penelitian	19
3.2 Penentuan Parameter Validasi.....	21
3.3 Prediksi Kecepatan Rotasi Turbin.....	21
3.4 Simulasi CFD (<i>Computational Fluid Dynamic</i>)	25
3.4.1 Pembuatan Geometri	26
3.4.2 <i>Meshing</i>	30
3.4.3 <i>Pre-Processing</i>	32
3.4.4 <i>Solver Iteration</i>	34
3.4.5 <i>Post-Pocessing</i>	35
BAB IV	39
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Validasi Hasil Simulasi	39
4.2 Turbin 3 <i>Hydrofoil</i>	40
4.2.1 Pola Nilai Gaya dan Torsi untuk Setiap Variasi Kecepatan Arus Laut	41
4.2.1 Pola Nilai Gaya dan Torsi untuk Setiap Komponen Penyusun Turbin.....	46
4.3 Turbin 6 <i>Hydrofoil</i> dengan <i>Cascade 2</i>	49
4.3.1 Pola Nilai Gaya dan Torsi untuk Setiap Variasi Kecepatan Arus Laut	50
4.3.2 Pola Nilai Gaya dan Torsi untuk Setiap Komponen Penyusun Turbin.....	55
4.4 Turbin 9 <i>Hydrofoil</i> dengan <i>Cascade 3</i>	58
4.4.1 Pola Nilai Gaya dan Torsi untuk Setiap Variasi Kecepatan Arus Laut	59
4.4.2 Pola Nilai Gaya dan Torsi untuk Setiap Komponen Penyusun Turbin.....	64
4.5 Diskusi Pengaruh Jumlah <i>Hydrofoil</i> terhadap Karakteristik Turbin Arus Laut.....	67

BAB V	75
PENUTUP	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	
LAMPIRAN D	
LAMPIRAN E	
LAMPIRAN F	
LAMPIRAN G	
LAMPIRAN H	
LAMPIRAN I	
LAMPIRAN J	
LAMPIRAN K	
LAMPIRAN L	
LAMPIRAN M	
LAMPIRAN N	
LAMPIRAN O	
LAMPIRAN P	
LAMPIRAN Q	
LAMPIRAN R	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Dinamika Arus Laut Dunia (astronomyonline, 2015)	9
Gambar 2.2 Tubin Horizontal Aksis dan Turbin Vertikal Aksis (M.J. Khan, 2009)	10
Gambar 2.3 Gaya-gaya dari fluida di sekeliling pada sebuah benda dua dimensi: a. gaya tekanan, b. gaya viskos, c. gaya resultan (<i>lift</i> dan <i>drag</i>) (Munson, 2002).....	11
Gambar 2.4 Gaya tekanan dan gaya geser pada sebuah elemen kecil dari permukaan sebuah benda (Munson, 2002).....	12
Gambar 2.5 Gaya <i>Lift and Drag</i> pada turbin vertikal aksis tipe Darrieus (Syed Shah Khalid, 2012)	13
Gambar 2.6 Profil geometri NACA 0012, 0015 dan 0018 (D.P. COiro, 2005).	14
Gambar 2.7 Contoh ilustrasi separasi aliran yang terjadi pada sebuah <i>airfoil</i> : a. daerah-daerah profil aliran pada <i>airfoil</i> (Susilo, 2014), b. profil kecepatan aliran fluida yang terjadi pada <i>aifoil</i> (Hannes Sturm, 2012)	16
Gambar 2.8 Ilustrasi mekanisme <i>passive-pitch</i> pada turbin vertikal aksis (Susilo, 2014).....	17
Gambar 3.1 Skema diagram alir penelitian Tugas Akhir.....	19
Gambar 3.2 Grafik Regresi Linear Turbin 3 <i>Hydrofoil</i>	22
Gambar 3.3 Grafik Regresi Linear Turbin 6 <i>Hydrofoil</i> dengan <i>Cascade 2</i>	23
Gambar 3.4 Grafik Regresi Linear Turbin 9 <i>Hydrofoil</i> dengan <i>Cascade 3</i>	24
Gambar 3.5 Geometri Turbin 3 Variasi Tampak 3 Dimensi: a. turbin 3 <i>hydrofoil</i> , b. turbin 6 <i>hydrofoil</i> dengan <i>cascade 2</i> , c. turbin 9 <i>hydrofoil</i> dengan <i>cascade 3</i>	27
Gambar 3.6 Geometri Turbin 3 Variasi Tampak Atas: a. turbin 3 <i>hydrofoil</i> , b. turbin 6 <i>hydrofoil</i> dengan <i>cascade 2</i> , c. turbin 9 <i>hydrofoil</i> dengan <i>cascade 3</i>	28

Gambar 3.7 Geometri Domain Tabung 3 Dimensi: a. Domain Tabung, b. Domain Tabung yang Sudah di Subtract dengan Turbin.....	29
Gambar 3.8 Geometri Keseluruhan 3 Dimensi	30
Gambar 3.9 Hasil Geometri yang Sudah dilakukan <i>Meshing</i>	32
Gambar 3.10 Solver Iteration Selesai	34
Gambar 3.11 Profil Aliran Kontur Tekanan 3 Dimensi: a. Turbin Bagian Bawah, b. Turbin Bagian Tengah, c. Turbin Bagian Atas.....	36
Gambar 3.12 Profil Aliran <i>Streamline</i> Kecepatan 3 Dimensi: a. Turbin Bagian Bawah, b. Turbin Bagian Tengah, c. Turbin Bagian Atas.....	37
Gambar 4.1 Pola Nilai Gaya dan Torsi Turbin 3 <i>Hydrofoil</i> Hasil Simulasi Setiap Variasi Kecepatan Aliran: a. Pola Nilai Gaya, b. Pola Nilai Torsi	42
Gambar 4.2 Profil Aliran Hasil Simulasi Sudut Azimuth 60°, 180° dan 300° Turbin 3 <i>Hydrofoil</i> : a. Kontur Tekanan, b. <i>Streamline</i> Kecepatan	43
Gambar 4.3 Profil Aliran Hasil Simulasi Sudut Azimuth 105°, 225° dan 345° Turbin 3 <i>Hydrofoil</i> : a. Kontur Tekanan, b. <i>Streamline</i> Kecepatan	45
Gambar 4.4 Pola Nilai Gaya dan Torsi Turbin 3 <i>Hydrofoil</i> Hasil Simulasi Setiap Komponen Penyusun Turbin: a. Pola Nilai Gaya, b. Pola Nilai Torsi.....	47
Gambar 4.5 Profil Aliran Hasil pada <i>Blade</i> 1, <i>Blade</i> 2, dan <i>Blade</i> 3 di Sudut Azimuth 105°, 225° dan 345° Turbin 3 <i>Hydrofoil</i> : a. Kontur Tekanan, b. <i>Streamline</i> Kecepatan	48
Gambar 4.6 Profil Aliran Hasil pada <i>Blade</i> 2, <i>Blade</i> 1, dan <i>Blade</i> 3 di Sudut Azimuth 60°, 180° dan 300° Turbin 3 <i>Hydrofoil</i> : a. Kontur Tekanan, b. <i>Streamline</i> Kecepatan	49
Gambar 4.7 Pola Nilai Gaya dan Torsi Turbin 6 <i>Hydrofoil</i> dengan <i>Cascade</i> 2 Hasil Simulasi Setiap Variasi Kecepatan Aliran: a. Pola Nilai Gaya, b. Pola Nilai Torsi.....	51

Gambar 4.8 Profil Aliran Hasil Simulasi Sudut Azimuth 75°, 195° dan 315° Turbin 6 <i>Hydrofoil</i> dengan <i>Cascade 2</i> : a. Kontur Tekanan, b. <i>Streamline</i> Kecepatan.....	53
Gambar 4.9 Profil Aliran Hasil Simulasi Sudut Azimuth 30°, 150° dan 270° Turbin 6 <i>Hydrofoil</i> dengan <i>Cascade 2</i> : a. Kontur Tekanan, b. <i>Streamline</i> Kecepatan.....	54
Gambar 4.10 Pola Nilai Gaya dan Torsi Turbin 6 <i>Hydrofoil</i> dengan <i>Cascade 2</i> Hasil Simulasi Setiap Komponen Penyusun Turbin: a. Pola Nilai Gaya, b. Pola Nilai Torsi.....	56
Gambar 4.11 Profil Aliran Hasil pada <i>Blade 12</i> , <i>Blade 32</i> , dan <i>Blade 22</i> di Sudut Azimuth 30°, 150° dan 270° Turbin 6 <i>Hydrofoil</i> dengan <i>Cascade 2</i> : a. Kontur Tekanan, b. <i>Streamline</i> Kecepatan.....	57
Gambar 4.12 Profil Aliran Hasil pada <i>Blade 12</i> , <i>Blade 32</i> , dan <i>Blade 22</i> di Sudut Azimuth 0°, 120° dan 240° Turbin 6 <i>Hydrofoil</i> dengan <i>Cascade 2</i> : a. Kontur Tekanan, b. <i>Streamline</i> Kecepatan.....	58
Gambar 4.13 Pola Nilai Gaya dan Torsi Turbin 9 <i>Hydrofoil</i> dengan <i>Cascade 3</i> Hasil Simulasi Setiap Variasi Kecepatan Aliran: a. Pola Nilai Gaya, b. Pola Nilai Torsi.....	60
Gambar 4.14 Profil Aliran Hasil Simulasi Sudut Azimuth 0°, 120° dan 240° Turbin 9 <i>Hydrofoil</i> dengan <i>Cascade 3</i> : a. Kontur Tekanan, b. <i>Streamline</i> Kecepatan.....	62
Gambar 4.15 Profil Aliran Hasil Simulasi Sudut Azimuth 30°, 150° dan 270° Turbin 9 <i>Hydrofoil</i> dengan <i>Cascade 3</i> : a. Kontur Tekanan, b. <i>Streamline</i> Kecepatan.....	63
Gambar 4.16 Pola Nilai Gaya dan Torsi Turbin 9 <i>Hydrofoil</i> dengan <i>Cascade 3</i> Hasil Simulasi Setiap Komponen Penyusun Turbin: a. Pola Nilai Gaya, b. Pola Nilai Torsi.....	65
Gambar 4.17 Profil Aliran Hasil pada <i>Blade 13</i> , <i>Blade 33</i> , dan <i>Blade 23</i> di Sudut Azimuth 30°, 150° dan 270° Turbin 9 <i>Hydrofoil</i> dengan <i>Cascade 3</i> : a. Kontur Tekanan, b. <i>Streamline</i> Kecepatan.....	66

Gambar 4.18 Profil Aliran Hasil pada <i>Blade</i> 13, <i>Blade</i> 33, dan <i>Blade</i> 23 di Sudut Azimuth 0° , 120° dan 240° Turbin 9 <i>Hydrofoil</i> dengan <i>Cascade</i> 3: a. Kontur Tekanan, b. <i>Streamline</i> Kecepatan.....	67
Gambar 4.19 Hubungan Nilai Torsi terhadap Variasi Kecepatan Aliran untuk Setiap Variasi Model Turbin.....	68
Gambar 4.20 Hubungan Nilai Gaya terhadap Variasi Kecepatan Aliran untuk Setiap Variasi Model Turbin.....	69
Gambar 4.21 Pola Nilai Gaya dengan Variasi Model Turbin di Setiap Sudut Azimuth	70
Gambar 4.22 Profil Separasi Aliran pada <i>Hydrofoil</i>	71
Gambar 4.23 Peningkatan Torsi Variasi Model Turbin untuk Setiap Variasi Kecepatan Aliran	72
Gambar 4.24 Peningkatan Torsi Variasi Model 2 dan 3 Terhadap Model 1 untuk Setiap Variasi Kecepatan Aliran ..	73

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Potensi dan Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (Yoyon, A. 2012)	1
Tabel 3.1 Data Eksperiment Turbin	21
Tabel 3.2 Hasil Prediksi Kecepatan Rotasi Turbin untuk Simulasi	24
Tabel 3.3 Ukuran Geometri untuk Simulasi	26
Tabel 3.4 Ukuran Meshing Simulasi.....	31
Tabel 3.5 Kondisi Batas untuk Simulasi.....	33
Tabel 4.1 Hasil Validasi Nilai Torsi Simulasi dengan Nilai Torsi Eksperiment.....	40

DAFTAR SIMBOL

F_x	Gaya di Sumbu x
F_y	Gaya di Sumbu y
p	Tekanan dari Fluida
A	Luas Permukaan Benda
τ_w	Tegangan Geser pada Permukaan Benda
θ	Sudut
L	Gaya Angkat
D	Gaya Hambat

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Sudirman Said menyampaikan, Indonesia bisa mengalami krisis listrik dalam dua tahun jika pemerintah tidak membuat terobosan dalam membangun pembangkit listrik. Menurut Sudirman, setiap pertumbuhan ekonomi 1 persen diperlukan peningkatan suplai listrik 1.5 persen (Permana, 2014). Seiring dengan gencarnya krisis energi maka peneliti berupaya untuk mencari solusi atas masalah tersebut. Upaya yang telah dilakukan adalah mencari energi alternatif yang dapat mengganti bahan bakar fosil dengan energi yang bersih atau mereduksi emisi gas buang dan dapat diperbarui. Potensi energi baru terbarukan di Indonesia cukup besar, namun pemanfaatan energi tersebut masih sangat sedikit. Hal tersebut ditunjukkan pada tabel 1.1 sebagai berikut:

Tabel 1.1 Potensi dan Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan
(Yoyon, A. 2012)

No	Energi	Potensi (PO)	Pemanfaatan (PE)	Rasio (PE/PO)
1	Air	75.670 MW	6.654,29 MW	8,8 %
2	Geothermal	29.038 MW	1.226 MW	4,2 %
3	Micro Hydro	769,69 MW	228,983 MW	29,75 %
4	Biomass	49.810 MW	1.618,40 MW	3,25 %
5	Energi Sinar Matahari	4,80 kWh/m ² /day	22,45 MW	-
6	Energi Angin	3 - 6 m/s	1,87 MW	-

Jika semua potensi energi baru terbarukan dapat dimanfaatkan akan memberikan kontribusi yang penting untuk memacu perkembangan ekonomi, terutama dalam peningkatan kesejahteraan masyarakat dan penyediaan lapangan kerja. Pada tabel 1.1 dijelaskan bahwa potensi yang paling besar adalah energi air, dimana wilayah Indonesia sebagian besar terdiri dari lautan. Air laut mengabsorpsi radiasi matahari, sehingga terjadi sirkulasi antara area yang berbeda. Salah satu potensi terbesar dari air laut ialah arus laut yang merupakan gerakan massa air laut dari suatu tempat menuju tempat lain. Arus laut memiliki potensi energi kinetik yang sangat besar dan tidak pernah berhenti, sehingga sangat cocok dijadikan salah satu sumber energi listrik yang berpotensi besar. Kecepatan arus laut di beberapa perairan Indonesia seperti Bali, Lombok, dan Nusa Tenggara mencapai 2 – 3 m/s.

Melakukan konversi energi arus laut dengan turbin merupakan salah satu hal yang menarik untuk dikembangkan. Apabila dibandingkan dengan energi angin, arus laut lebih mudah diprediksi, dapat diandalkan dan memiliki potensi energi yang lebih besar. Salah satu cara yang digunakan untuk mengonversi energi arus laut dengan menggunakan turbin. Jenis turbin yang sering digunakan, yaitu jenis horisontal aksis (HAT) dan jenis vertikal aksis (VAT). Turbin vertikal aksis sangat cocok jika digunakan untuk perairan Indonesia karena kecepatan aliran yang tidak terlalu besar. Banyak jenis turbin vertikal aksis yang dikembangkan untuk keperluan pembangkitan listrik, salah satunya adalah tipe *Darrieus*. Tipe ini memiliki efisiensi yang besar diantara jenis turbin vertikal aksis yang lain (Bhutta, 2012).

Turbin arus laut jenis *Darrieus straight-bladed* memiliki kelemahan dalam *self-start* serta torsi yang rendah. Salah satu mekanisme yang digunakan untuk meningkatkan

performansi adalah mekanisme *passive-pitch*. Mekanisme ini bertujuan agar turbin dapat melakukan *start up* untuk kecepatan arus laut yang relatif rendah, selain itu juga dapat digunakan untuk menaikkan gaya angkat dan torsi yang dihasilkan.

Desain turbin sangatlah penting karena mempengaruhi performansi dari turbin. Untuk skala industri penggunaan turbin arus laut untuk menghasilkan listrik sangat tergantung perancangan awal model atau simulasi. Simulasi dapat mengurangi biaya dan mempercepat pembuatan turbin karena sudah dapat memperkirakan performansi yang akan dihasilkan. Untuk mendapatkan performansi turbin yang sesuai dengan kondisi nyata, maka kondisi turbin saat simulasi harus disesuaikan.

Penelitian yang telah berkembang tentang turbin arus laut telah sampai pada perbedaan antara *fixed* dan *variable pitch vertical axis tidal turbine using CFD analysis in CFX* (Syed Shah Khalid, 2012). Pada penelitian tersebut membahas mengenai hasil simulasi turbin vertikal aksis dengan menggunakan CFX. Simulasi yang digunakan dengan kondisi transient dan dengan model SST. Hasil yang didapatkan *fixed pitch* dan *passive/variable pitch* sangat berpengaruh pada torsi turbin. Turbin dengan *blade passive pitch* saat mulai berputar torsiya lebih besar dibandingkan dengan turbin dengan *blade fixed pitch*. Hal ini terjadi karena kelemahan utama saat dilapangan pada saat *self-starting* turbin *blade fixed pitch* tidak akan menghasilkan cukup torsi. Serta didukung dengan pengujian secara langsung dari jurnal *An Experimental Investigation of Passive Variable-Pitch Vertical-Axis Ocean Current Turbine* (Ridho Hantoro, 2011).

Serta penelitian mengenai efek penambahan dari jumlah blade yang berjudul *Effect of number of blades on aerodynamic forces on a straight-bladed Vertical Axis Wind Turbine* (Qing'an Li a, 2015). Pada penelitian ini, ditemukan bahwa

energi yang diekstrak dari angin tergantung pada daerah hulu. Koefisien daya menurun dengan meningkatkan jumlah *blade*. Koefisien daya maksimum didapatkan ketika turbin dengan 2 *blade*.

Penelitian mengenai variasi panjang *chord* terhadap performansi turbin dari jurnal *Studi Numerik dan Eksperimental Performansi Turbin Vertikal Aksis Arus Sungai dengan Variasi Seri Airfoil dan Panjang Chord* (Akhmad S. Setiaji, 2011), jenis airfoil yang akan digunakan pada penelitian ini adalah NACA 0015 simetris dan NACA 4415 asimetris dengan panjang *chord* 5 cm dan 7 cm. Didapatkan bahwa besarnya nilai RPM (Rotasi Per-Menit) sebanding dengan besarnya nilai kecepatan arus sungai. Serta nilai panjang *chord* yang terbesar memiliki performansi yang terbesar.

Nilai torsi sebanding dengan nilai massa suatu benda itu sendiri, maka peneliti mengusulkan tambahan *blade* membuat massa pada turbin bertambah dan memungkinkan terjadi peningkatan torsi. Peningkatan torsi akan meningkatkan kinerja dari turbin arus laut. Oleh karena itu, peneliti akan menganalisa karakteristik turbin arus laut jika digunakan *cascade blade* pada turbin dengan kombinasi *fixed* dan *passive pitch*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konfigurasi jumlah *blade* yang tepat untuk meningkatkan kinerja turbin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka ada beberapa poin masalah yang dapat dirumuskan, sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jumlah *hydrofoil* terhadap karakteristik torsi dan gaya turbin vertikal aksis arus laut jenis *straight blade*?
2. Bagaimana pengaruh jumlah *hydrofoil* terhadap profil aliran yang terjadi pada turbin vertikal aksis arus laut jenis *straight blade*?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini, sebagai berikut:

1. Turbin yang digunakan pada penelitian ini adalah turbin vertikal aksis jenis *Straight-blade*
2. Kecepatan aliran fluida arus laut yang digunakan adalah kecepatan 0,5 sampai dengan 1,5 m/s
3. Tipe blade yang digunakan adalah NACA 0018 dengan perbandingan tinggi dan diameter turbin atas sebesar 1:1
4. Jumlah *airfoil* yang digunakan sebanyak 3 *foil single blade*, 6 *foil cascade 2 blade*, dan 9 *foil cascade 3 blade*.
5. *Blade* terluar menggunakan metode *passive pitch* dengan variasi sudut *pitch* yaitu ± 20 derajat.
6. Metode Simulasi dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics*.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh jumlah *hydrofoil* pada turbin vertikal aksis arus laut jenis *straight blade* terhadap pola perubahan nilai torsi dan gaya yang terjadi di simulasi CFD.
2. Untuk mengetahui pengaruh jumlah *hydrofoil* pada turbin vertikal aksis arus laut jenis *straight blade* terhadap profil aliran yang terjadi pada turbin dengan simulasi CFD.

1.6 Manfaat

Berikut ini manfaat diadakannya penelitian, antara lain:

1. Dapat mengetahui pola perubahan nilai torsi dan gaya yang terjadi menggunakan model turbin dengan *single* maupun *cascade hydrofoil* pada turbin vertikal aksis arus laut jenis *straight blade* pada simulasi CFD.
2. Dapat mengetahui pengaruh model turbin *single* dan *cascade hydrofoil* pada turbin vertikal aksis arus laut jenis *straight blade* terhadap profil aliran yang terjadi pada turbin dengan simulasi CFD.

1.7 Sistematika Laporan

Laporan penelitian Tugas Akhir ini akan disusun secara sistematis dibagi dalam beberapa bab, dengan perincian sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika laporan.

BAB II Dasar Teori

Pada bab ini membahas secara singkat teori-teori yang mendasari pengerjaan Tugas Akhir ini, selain itu juga terdapat penjelasan tentang teori-teori tersebut.

BAB III Metodologi Penelitian

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai detail tahapan-tahapan yang harus dilalui untuk mencapai tujuan dan simpulan akhir dari penelitian. Produk akhir dari tahap ini adalah hasil simulasi CFD yang akan dilihat profil aliran, torsi, gaya angkat dan tarik yang akan dianalisis.

BAB IV Analisa Data dan Pembahasan

Bab ini merupakan tindak lanjut dari Bab III, pada bab ini akan dilakukan analisis terhadap simulasi yang telah dilakukan menggunakan CFD, setelah dilakukan analisis sesuai dengan kebutuhan dan tujuan yang ingin dicapai maka selanjutnya dilakukan pembahasan terhadap analisis data yang telah dilakukan, pembahasan yang dilakukan disesuaikan dengan tujuan yang ingin dicapai.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan pokok dari seluruh penelitian atau Tugas Akhir yang telah dilakukan dan saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya. Kemudian juga diisi saran – saran yang perlu dilakukan untuk penelitian lebih lanjut.

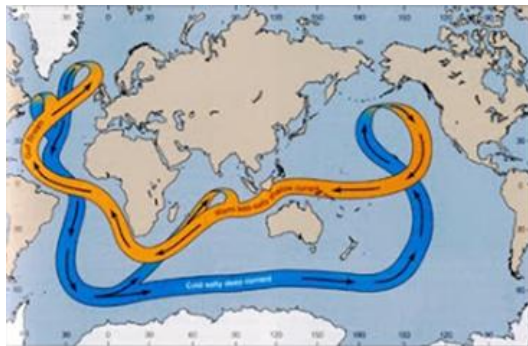
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dinamika Arus Laut

Arus laut merupakan gerakan masa air laut secara teratur dari suatu tempat ke tempat lain. Sebagian besar arus laut bergerak dengan arah horizontal dan hanya sebagian kecil yang bergerak secara vertikal (Muhammad, 2005). Penyebab terjadinya arus laut karena tiupan angin yang besar secara terus menerus. Sehingga arah arus laut searah dengan tiupan angin. Arah arus laut sama halnya seperti sungai yang akan bergerak menuju tempat yang lebih rendah. Serta radiasi matahari menyebabkan pemanasan di beberapa bagian bumi. Hal ini membuat air yang terkena radiasi akan mengembang karena terjadi pemanasan, sehingga membuat sebuah kemiringan daerah yang lebih dingin. Akibat peristiwa ini air yang suhunya lebih panas akan mengarah ke arah yang lebih rendah.

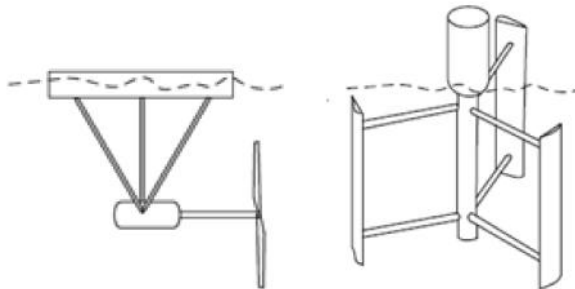


Gambar 2.1 Dinamika Arus Laut Dunia (astronomyonline, 2015)

2.2 Turbin Arus Laut

Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengekstrak potensi arus laut di Indonesia dengan turbin arus laut. Mekanisme pergerakan turbin arus laut sama seperti turbin

angina hanya yang membedakan fluidanya. Turbin arus laut yang sering digunakan untuk mengekstrak energi arus laut adalah turbin horizontal aksis dan turbin vertikal aksis. Turbin horizontal aksis memiliki sumbu rotasi yang sejajar dengan aliran fluida. Turbin vertikal aksis memiliki sumbu rotasi yang tegak lurus terhadap arah aliran fluida. Berikut merupakan jenis-jenis turbin *vertical axis*. Gambar 2.2 merupakan contoh turbin horizontal dan vertikal aksis.



Gambar 2.2 Turbin Horizontal Aksis dan Turbin Vertikal Aksis (M.J. Khan, 2009)

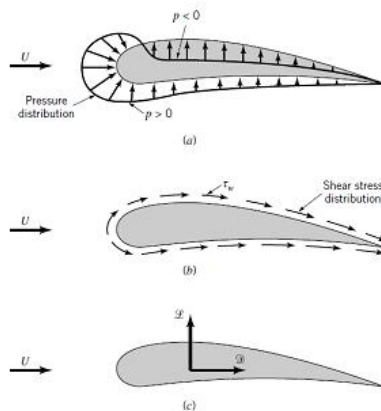
Jenis-jenis turbin tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan. Turbin horizontal aksis memiliki kelebihan, yaitu efisiensi yang lebih tinggi, memiliki kemampuan *self starting* yang lebih besar dan memiliki rasio biaya terhadap daya yang dihasilkan lebih rendah. Namun kekurangannya yaitu mengharuskan pemasangan generator dan gearbox dekat dengan rotor sehingga membuat perawatan yang lebih susah dan memerlukan bagian tambahan seperti ekor yang digunakan untuk mengarahkan turbin ketika arah aliran fluida berubah.

Turbin vertikal aksis memiliki kelebihan, yaitu kemudahan dalam perawatan karena generator dan gearbox dapat diletakkan jauh dari rotor turbin atau berada dipermukaan

air laut, lalu dapat menerima arah aliran fluida dari mana saja, dapat beroperasi pada aliran fluida yang rendah, dan desain blade yang sederhana sehingga biaya fabrikasi blade dapat diminimalkan. Kekurangannya adalah kemampuan *self starting* yang buruk, memiliki efisiensi yang rendah, dan susah untuk mengendalikan kecepatan blade yang terlalu tinggi.

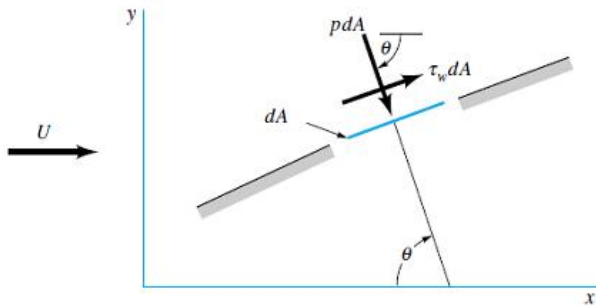
2.3 Konsep Gaya Angkat (*lift*) dan Gaya Hambat (*drag*) pada Turbin

Ketika sebuah benda bergerak melewati fluida akan menyebabkan interaksi antara benda dengan fluida. Interaksi terjadi dalam bentuk gaya-gaya pada daerah antar muka fluida dan benda. Hal ini dapat digambarkan dalam tegangan geser dinding (τ_w) akibat efek viskos dan tegangan normal akibat tekanan (p). Distribusi tegangan geser dan tekanan yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 2.3(a) dan 2.3(b).



Gambar 2.3 Gaya-gaya dari fluida di sekeliling pada sebuah benda dua dimensi: a. gaya tekanan, b. gaya viskos, c. gaya resultan (*lift* dan *drag*) (Munson, 2002)

Gaya yang arahnya sama dengan kecepatan hulu yaitu gaya hambat (D), sedangkan gaya yang tegak lurus terhadap arah kecepatan hulu yaitu gaya angkat (L). Resultan dari tegangan geser dan distribusi tekanan ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Gaya tekanan dan gaya geser pada sebuah elemen kecil dari permukaan sebuah benda (Munson, 2002)

Benda yang dilewati oleh fluida memiliki luas area sebesar dA , sehingga gaya-gaya yang terjadi pada sumbu x dan y adalah

$$dF_x = (pdA) \cos\theta + (\tau_w dA) \sin\theta \quad 2.1$$

dan

$$dF_y = -(pdA) \sin\theta + (\tau_w dA) \cos\theta \quad 2.2$$

Jadi, komponen x dan y netto dari gaya pada benda adalah

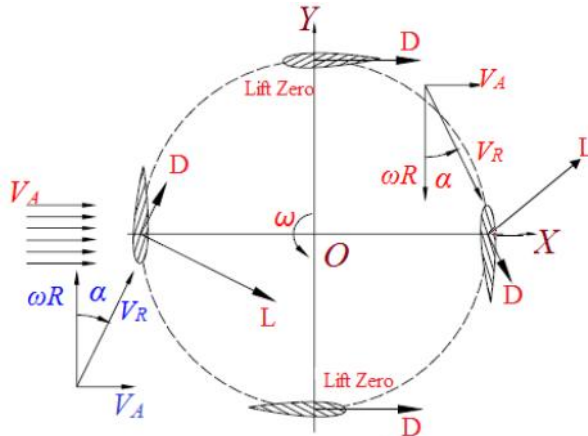
$$D = \int dF_x = \int p \cos\theta dA + \int \tau_w \sin\theta dA \quad 2.3$$

Dan

$$L = \int dF_y = -\int p \sin\theta dA + \int \tau_w \cos\theta dA \quad 2.4$$

Ketika turbin arus laut tipe darrieus diletakkan dalam suatu aliran fluida akan menyebabkan *blade-blade* pada turbin memiliki gaya angkat dan gaya hambat ditunjukkan pada gambar 2.5. Gaya angkat tersebut dihasilkan oleh perubahan aliran disekitar *blade*. Gaya angkat terjadi ketika tekanan fluida dibawah sayap lebih tinggi daripada tekanan fluida diatas

sayap. Saat *blade* berputar akan terjadi perubahan kecepatan aliran relatif yang merupakan resultan vektor kecepatan aliran fluida dan kecepatan *blade* itu sendiri. Sudut datang kecepatan aliran relatif ini dan besarnya kecepatannya bergantung pada sudut azimuth.



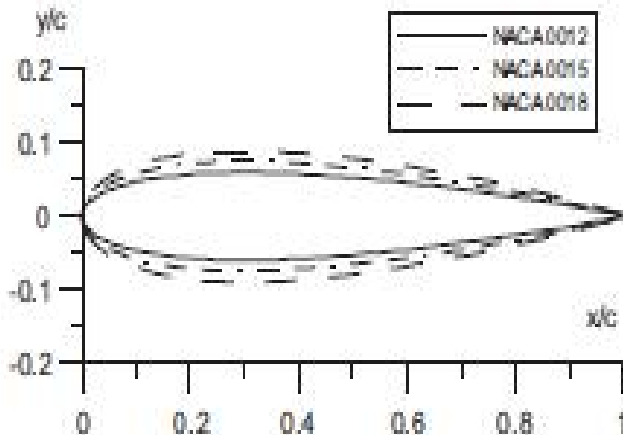
Gambar 2.5 Gaya *Lift and Drag* pada turbin vertikal aksis tipe Darrieus (Syed Shah Khalid, 2012)

2.4 NACA Airfoil

Airfoil merupakan suatu benda yang memiliki bentuk seperti sayap atau pisau yang digunakan pada fluida udara, biasanya sering disebut sudu atau *blade*. Sebuah *foil* yang dirancang dan digunakan untuk fluida air disebut sebagai *hydrofoil*. *Foil* yang digerakkan atau bergerak melewati fluida memiliki gaya aerodinamis yang diantaranya adalah gaya angkat dan gaya hambat. Gaya angkat (*lift*) adalah gaya yang tegak lurus terhadap arah fluida, sedangkan gaya hambat (*drag*) adalah gaya yang searah dengan aliran fluida yang melewatinya.

Badan atau lembaga yang menangani tentang *airfoil* atau aeronautika adalah NACA (Komite Penasihat Nasional untuk Aeronautika). NACA *airfoil* adalah geometri sayap pesawat terbang yang dikembangkan oleh NACA. Bentuk *airfoil* dijelaskan oleh serangkaian digit angka yang mengikuti kata NACA. Salah satu contoh NACA yang sering digunakan dalam pemanfaatannya untuk turbin angin dan air adalah NACA 4-digit *series*.

NACA 4-digit mempunyai arti digit yang pertama menunjukkan maksimum *chamber* sebagai persentase dari panjang *chord*. Untuk digit kedua adalah jarak maksimum *chamber* dari *airfoil leading edge* dalam puluhan persentase dari *chord*. Sedangkan untuk dua digit yang terakhir menunjukkan persentase ketebalan maksimum dari *chord*.

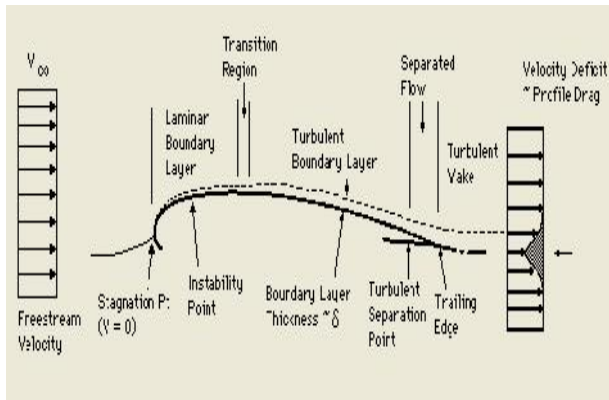


Gambar 2.6 Profil geometri NACA 0012, 0015 dan 0018
(D.P. COiro, 2005).

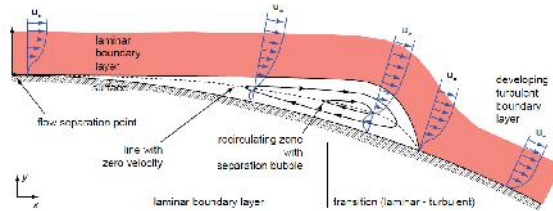
Salah satu contoh NACA 4-digit *series* adalah NACA 0012, 0015 dan 0018. NACA 0018 inilah yang digunakan sebagai *hydrofoil* yang akan dijadikan *blade* pada turbin vertikal aksis jenis *straight blade* yang akan dijadikan sebagai objek simulasi. NACA 0018 simetris dengan 00 menunjukkan bahwa *hydrofoil* ini tidak memiliki *chamber*. Angka 18 menunjukkan besarnya persentase ketebalan dari panjang *chord*.

2.5 Separasi Aliran pada *Airfoil*

Pada suatu *airfoil* terendam akan terjadi separasi (pemisahan) aliran fluida dari permukaan benda. Hal ini terjadi karena fluida kehilangan energi untuk mengikuti profil dari benda. Separasi aliran memberikan efek gaya hambat pada *airfoil*. Pada gambar 2.7 merupakan ilustrasi separasi aliran pada *airfoil*. Pada bagian *stagnation* (sisi permukaan yang menghadap aliran) tekanan yang didapatkan sangat besar. Pada *laminar boundary layer* gradien tekanan balik tidak besar dan fluida masih memiliki energi untuk melewati permukaan *airfoil*. Setelah melewati *transition region* gradient tekanan balik mulai meningkat mulai meningkat dan terjadi peningkatan maksimal pada posisi *separated flow* dimana fluida sudah tidak memiliki energi untuk berada dipermukaan *airfoil*. Ketika gradient tekanan balik meningkat akan mengakibatkan terjadi vorteks. Vorteks menandakan bahwa kecepatan aliran yang berada dibelakang *airfoil* akan berkurang atau lebih rendah dari nilai kecepatan fluida di awal. Hal ini pun dapat dilihat ketika nilai kecepatan aliran bebas (u) dibagi dengan kecepatan maksimal aliran (U_{fs}) memiliki nilai negatif, artinya arah aliran bertolak belakang dengan arah aliran fluida. Fenomena separasi tidak terjadi jika sudut serang 0° , namun terjadi pada sudut serang diatasnya. Visikositas fluida tidak terlalu pengaruh pada fenomena separasi aliran, sehingga bisa diabaikan.



(a)



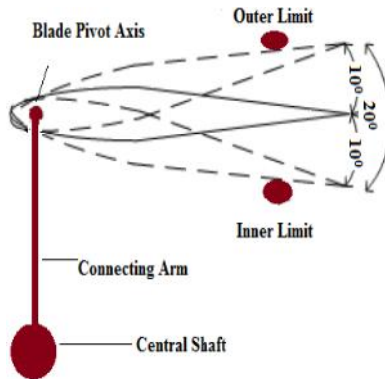
(b)

Gambar 2.7 Contoh ilustrasi separasi aliran yang terjadi pada sebuah *airfoil*: a. daerah-daerah profil aliran pada *airfoil* (Susilo, 2014), b. profil kecepatan aliran fluida yang terjadi pada *airfoil* (Hannes Sturm, 2012)

2.6 Passive Pitch

Passive pitch merupakan mekanisme yang digunakan untuk mengendalikan besarnya sudut serang yang terjadi pada *hydrofoil* agar turbin dapat bergerak secara bebas. Hal ini akan meningkatkan *self starting* dari turbin vertikal aksis yang disimulasikan. Gambar 2.8 dibawah ini menunjukkan salah

satu ilustrasi mekanisme *passive-pitch* pada turbin vertikal aksis.



Gambar 2.8 Ilustrasi mekanisme *passive-pitch* pada turbin vertikal aksis (Susilo, 2014)

2.7 Simulasi Berbasis CFD (*Computational Fluid Dynamic*)

CFD merupakan metode numerik yang dapat digunakan untuk memprediksikan aliran fluida, perpindahan panas dan reaksi dalam sistem yang kompleks. CFD banyak diaplikasikan secara luas baik di dunia industri maupun selain industri. Bertujuan untuk mengurangi waktu dan biaya yang diperlukan dalam mendesain model. Dalam menganalisis masalah aliran fluida terdapat tiga tahapan dalam proses simulasi CFD, yaitu:

a. *Pre-processing*

Pre processing adalah suatu proses awal pada simulasi CFD, dimana pada proses ini dilakukan pendefinisian geometri yang telah dibuat sebelumnya pada *design modeler*. Pendefinisian tersebut dilakukan dalam bentuk domain dan kondisi batas atau *boundary condition*. Pada tahapan ini juga

dilakukan pendefinisian kondisi awal dan pemasukan nilai parameter fisika yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Selanjutnya dilakukan tahapan berikutnya yaitu *solving*.

b. Solver Iteration

Solver iteration adalah tahapan dalam simulasi CFD yang dilakukan dengan cara menghitung data parameter fisika yang telah dimasukkan bersamaan dengan model geometri. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan metode numerik seperti elemen hingga, beda hingga dan volume hingga. Pada tahapan ini akan dilakukan proses iterasi data hingga mendapatkan nilai error sesuai dengan batas error yang telah ditentukan atau dapat dikatakan sudah konvergen. Lalu tahapan selanjutnya adalah proses *post – processing*.

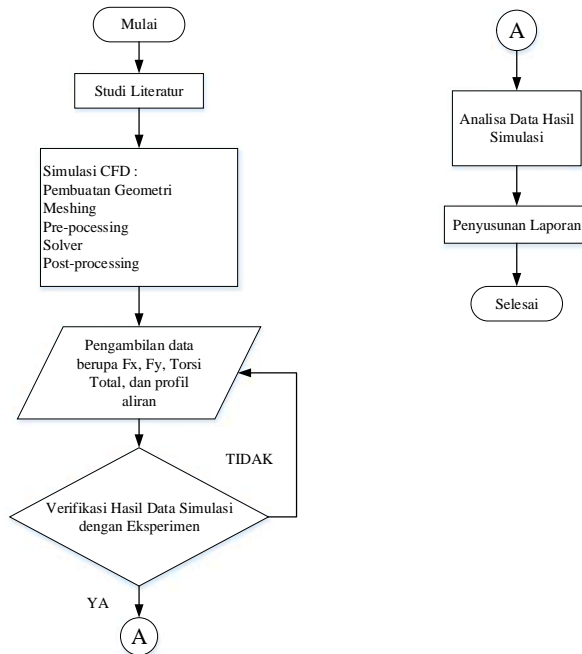
c. Post-processing

Post-processing adalah tahapan terakhir dalam simulasi CFD., dimana dalam tahapan ini kita dapat mengetahui profil aliran, seperti kontur kecepatan, tekanan, suhu dan lain-lain. Lalu kita juga dapat mengetahui nilai variable yang ingin ditinjau, seperti nilai gaya dalam arah sumbu x dan y, lalu nilai torsi dalam arah sumbu x dan y.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Secara umum tahapan penelitian Tugas Akhir ini dapat digambarkan dalam diagram alir seperti Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Skema diagram alir penelitian Tugas Akhir

Kegiatan yang paling penting untuk dilakukan pada tugas akhir adalah studi literatur dari berbagai sumber. Studi literatur tidak hanya dilakukan pada bagian awal proses pengerjaan,

namun selama pelaksanaan penelitian selalu melakukan studi literatur untuk menemukan solusi atas permasalahan yang terjadi selama tugas akhir. Studi literatur yang dilaksanakan meliputi pemahaman mengenai prinsip kerja turbin vertikal aksis jenis Darrius, *passive-pitch* dan *fixed-pitch blade*, konsep gaya lift dan drag, Airfoil NACA 0018, konsep regresi linier untuk ekstrapolasi dan performansi turbin. Selain teori-teori tersebut, sangat diperlukan pemahaman mengenai simulasi dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD).

Melakukan desain geometri merupakan awal dari kegiatan simulasi, dengan mendisain turbin jenis *Straight Blade Darrieus* yang menggunakan *hydrofoil* tipe NACA 0018. Selanjutnya proses meshing pada geometri hingga tidak ada eror pada saat mesh. Setelah dilakukan proses meshing, dilanjutkan dengan post-prosesing. Pada tahap ini, semua kondisi batas harus disesuaikan dengan kondisi yang sebenarnya. Kemudian dilanjutkan ke tahapan *solver iteration* untuk dilakukan perhitungan hingga RMSE 0,0001. Setelah proses tersebut maka sudah didapatkan hasil simulasi di tahap *post-processing*.

Setelah mendapatkan hasilnya maka hasil torsi dari simulasi di verifikasi dengan hasil torsi eksperimen. Jika erornya telah kecil maka dilanjutkan proses ekstrapolasi untuk mendapatkan kecepatan rotasi turbin sesuai kecepatan arus laut yang diinginkan. Dan kemudian menyimulasikan kembali dengan kondisi yang sama pada variasi kecepatan 0,5, 1 dan 1,5 m/s. Data-data yang didapatkan dari simulasi seperti torsi, gaya, kontur tekanan, dan *streamline* kecepatan. Kemudian data-data tersebut dianalisa dan dituliskan didalam laporan tugas akhir.

3.2 Penentuan Parameter Validasi

Pada penelitian ini, komputer digunakan untuk melakukan simulasi CFD. Simulasi CFD digunakan untuk memprediksi karakteristik turbin dengan mengkondisikan sesuai dengan kondisi sebenarnya. Hasil simulasi CFD untuk karakteristik turbin berbagai macam dan salah satunya adalah nilai torsi. Validasi digunakan untuk membandingkan nilai torsi hasil simulasi dengan nilai torsi hasil eksperimen, nilai dari perbandingan merupakan eror yang didapat oleh hasil simulasi. Nilai eror yang ditolerir agar simulasi dinyatakan valid sesuai kondisi sebenarnya berkisar $0 \leq e \leq 10\%$. Maka peneliti melakukan validasi nilai torsi untuk setiap variasi model turbin disalah satu kecepatan aliran yang telah dilakukan eksperimen, yaitu 1,1 m/s.

3.3 Prediksi Kecepatan Rotasi Turbin

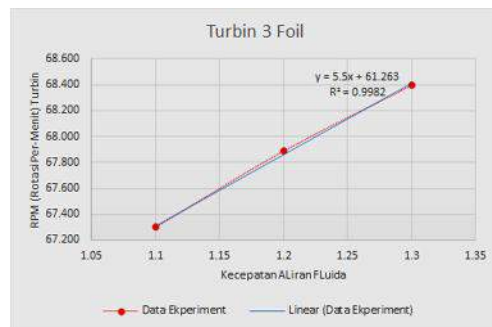
Prediksi kecepatan rotasi turbin menggunakan metode ekstrapolasi. Ekstrapolasi merupakan metode peramalan nilai Y, dimana nilai Y yang dicari berada diluar data X_0 dan X_n . Metode ekstrapolasi yang dilakukan menggunakan analisis regresi linear sederhana. Data-data yang digunakan untuk ekstrapolasi didapatkan dari hasil eksperimen masing-masing model turbin.

Tabel 3.1 Data Eksperiment Turbin

Turbin 3 <i>hydrofoil</i>	
Kecepatan aliran (m/s)	Kecepatan Rotasi Turbin (RPM)
1.1	67.300
1.2	67.890
1.3	68.400

Turbin 6 <i>hydrofoil</i> dengan cascade 2	
Kecepatan aliran (m/s)	Kecepatan Rotasi Turbin (RPM)
1.1	61.400
1.2	63.100
1.3	63.600
Turbin 9 <i>hydrofoil</i> dengan cascade 3	
Kecepatan aliran (m/s)	Kecepatan Rotasi Turbin (RPM)
1.1	56.300
1.2	57.330
1.3	60.300

Tabel 3.1 menunjukkan hasil pengukuran kecepatan rotasi turbin tiap variasi model turbin saat dilakukan eksperimen. Data-data berikut kemudian dicari persamaan garis regresi prediksinya $Y = a + bX$. Nilai a dan b merupakan nilai koefisien dari regresinya. Serta nilai Y merupakan variabel tak bebas dan nilai X merupakan variabel prediktor. Variabel yang tak bebas pada tabel 3.1 berupa data kecepatan rotasi turbin, sedangkan variabel yang bebas berupa data kecepatan aliran.

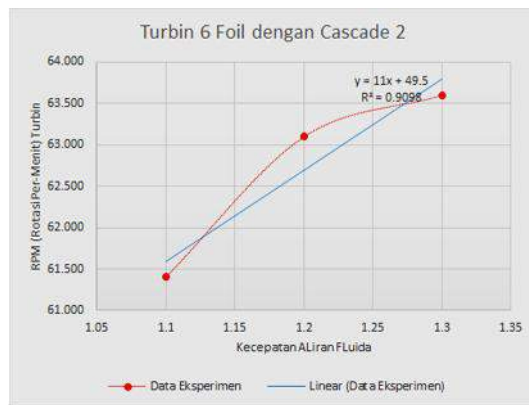


Gambar 3.2 Grafik Regresi Linear Turbin 3 *Hydrofoil*

Gambar 3.2 didapatkan persamaan ekstrapolasi hubungan kecepatan rotasi turbin terhadap kecepatan aliran untuk turbin 3 *hydrofoil*, sebagai berikut :

$$Y = 5.5X + 61.263$$

Dengan koefisien determinasi 0.9982. Sehingga dari persamaan tersebut dapat diketahui besarnya kecepatan rotasi turbin untuk setiap variasi kecepatan 0,5, 1 dan 1,5 m/s.

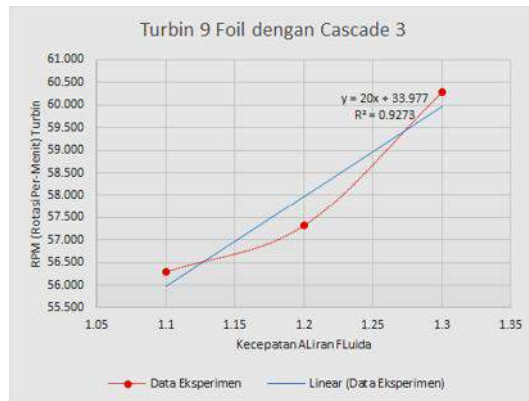


Gambar 3.3 Grafik Regresi Linear Turbin 6 *Hydrofoil* dengan *Cascade 2*

Gambar 3.3 didapatkan persamaan ekstrapolasi hubungan kecepatan rotasi turbin terhadap kecepatan aliran untuk turbin 6 *hydrofoil* dengan *cascade 2*, sebagai berikut :

$$Y = 11X + 49.5$$

Dengan koefisien determinasi 0.9098. Dari persamaan tersebut dapat diketahui besarnya kecepatan rotasi turbin untuk setiap variasi kecepatan 0,5, 1 dan 1,5 m/s.



Gambar 3.4 Grafik Regresi Linear Turbin 9 *Hydrofoil* dengan *Cascade 3*

Gambar 3.4 didapatkan persamaan ekstrapolasi hubungan kecepatan rotasi turbin terhadap kecepatan aliran untuk turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade 3*, sebagai berikut :

$$Y = 20X + 33.977$$

Dengan koefisien determinasi 0.9273. Dari persamaan tersebut dapat diketahui besarnya kecepatan rotasi turbin untuk setiap variasi kecepatan 0,5, 1 dan 1,5 m/s.

Tabel 3.2 Hasil Prediksi Kecepatan Rotasi Turbin untuk Simulasi

Turbin 3 <i>hydrofoil</i>	
Kecepatan aliran (m/s)	RPM (Rotasi Per-Menit)
0.5	64.013
1	66.763
1.5	69.513

Turbin 6 <i>hydrofoil</i> dengan <i>cascade</i> 2	
Kecepatan aliran (m/s)	RPM (Rotasi Per-Menit)
0.5	55.000
1	60.500
1.5	66.000
Turbin 9 <i>hydrofoil</i> dengan <i>cascade</i> 3	
Kecepatan aliran (m/s)	RPM (Rotasi Per-Menit)
0.5	43.977
1	53.977
1.5	63.977

Tabel 3.2 merupakan perhitungan nilai kecepatan rotasi turbin dari persamaan regresi masing-masing turbin. Hasil prediksi ini digunakan untuk digunakan sebagai kondisi turbin pada saat akan melakukan simulasi CFD.

3.4 Simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*)

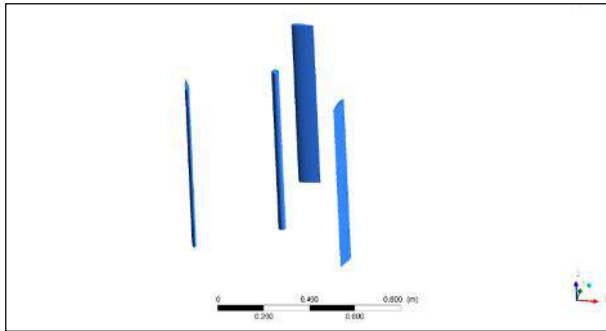
Perangkat lunak CFD pada tugas akhir ini digunakan untuk melihat karakteristik turbin, hal ini bertujuan untuk mengetahui torsi, gaya dan profil aliran yang terjadi pada turbin. Melakukan simulasi harus dikondisikan sesuai dengan kondisi sebenarnya. Namun komputer memiliki keterbatasan dalam melakukan simulasi CFD, sehingga saat simulasi harus lebih cermat dalam menentukan jumlah diskritisasi. Simulasi CFD sendiri terdiri dari beberapa tahapan, yaitu pembuatan geometri, *meshing*, *pre-processing*, *solver iteration*, dan *post-processing*.

3.4.1 Pembuatan Geometri

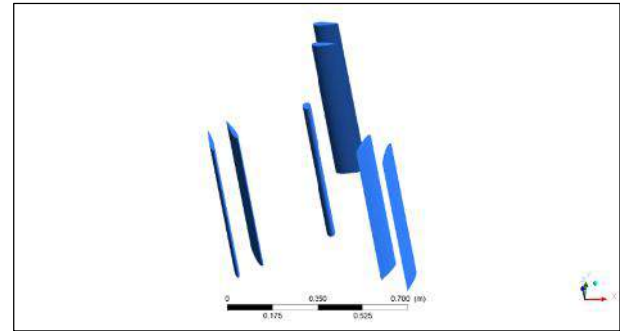
Pembuatan geometri turbin yang akan digunakan pada penelitian ini adalah turbin vertikal aksis jenis *Straight-blade*. Geometri dibuat dengan menggunakan Design Modeler. Hal yang pertama dilakukan ialah memasukan data dari NACA 0018 yang berupa titik-titik kordinat. Kemudian titik-titik tersebut saling dihubungkan oleh garis, namun untuk titik paling ujung dihubungkan secara manual. Selanjutnya garis-garis *hydrofoil* diperbesar menjadi 10 kalinya. Pembesaran dilakukan sesuai dengan turbin yang dilakukan uji eksperimen. Kemudian dari garis-garis tersebut dibuat menjadi bidang 2 dimensi. Setelah itu di *extrude* menjadi bidang 3 dimensi sehingga menjadi *blade* yang utuh. Variasi model turbin yang disimulasikan berjumlah tiga model turbin. Terdapat tiga komponen penting dalam pembuatan geometri pada simulasi ini, yaitu model turbin, domain tabung, dan domain laut. Ukuran-ukuran komponen dalam pembuatan geometri simulasi pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Ukuran Geometri untuk Simulasi

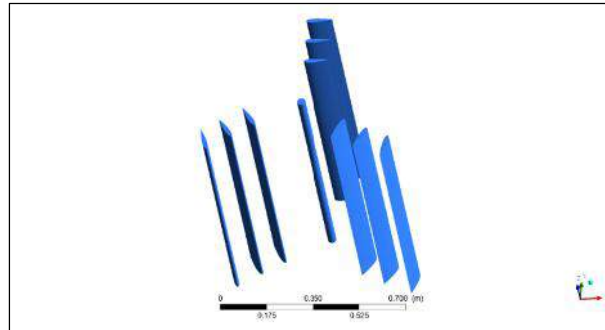
No	Besaran	Nilai (cm)
1	Chord	10
2	Span	80
3	Diameter Turbin	80
4	Diameter Shaft	3,15
5	Tinggi Shaft	80
6	Diameter Domain Tabung	90
7	Panjang Domain Tabung	160
8	Panjang Domain Laut	350
9	Lebar Domain Laut	170
10	Tinggi Domain Laut	160



(a)

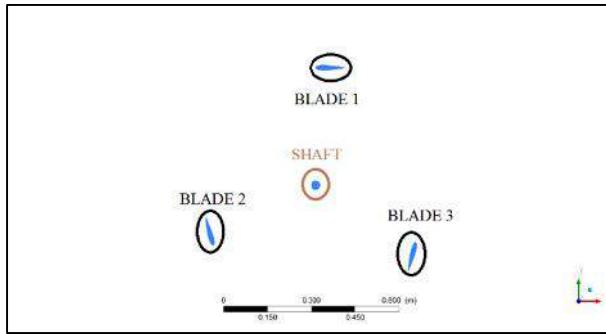


(b)

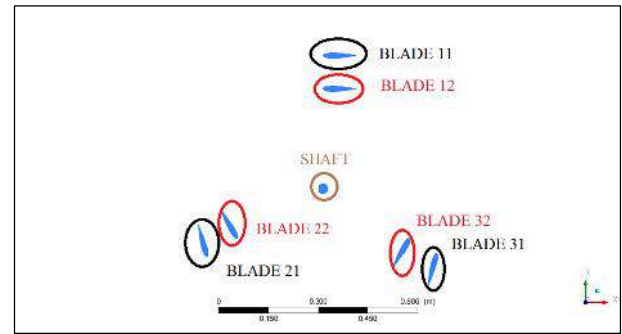


(c)

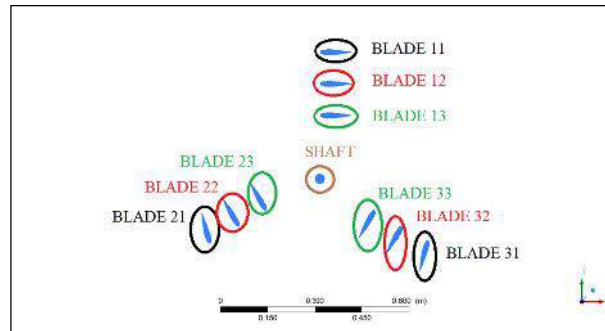
Gambar 3.5 Geometri Turbin 3 Variasi Tampak 3 Dimensi: a. turbin 3 *hydrofoil*, b. turbin 6 *hydrofoil* dengan *cascade* 2, c. turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade* 3



(a)



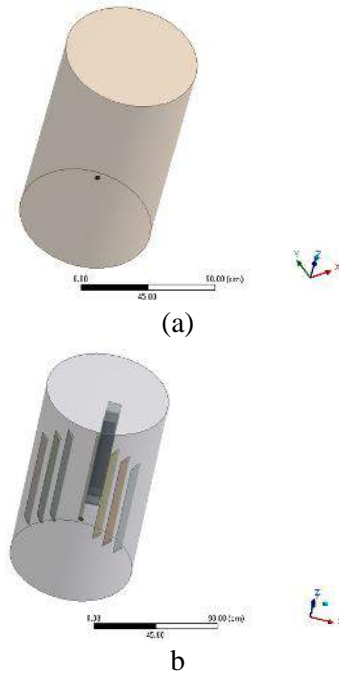
(b)



(c)

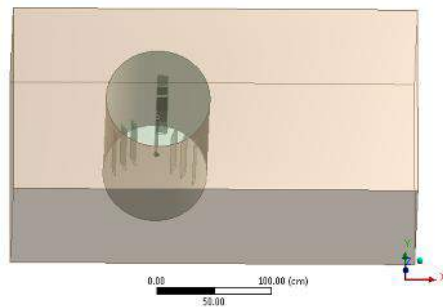
Gambar 3.6 Geometri Turbin 3 Variasi Tampak Atas: a. turbin 3 *hydrofoil*, b. turbin 6 *hydrofoil* dengan *cascade 2*, c. turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade 3*

Gambar 3.5 dan 3.6 menunjukkan variasi dari model turbin yang digunakan untuk simulasi. Model turbin yang digunakan ada tiga variasi, yaitu turbin 3 *hydrofoil*, turbin 6 *hydrofoil* dengan *cascade* 2, dan turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade* 3. Setelah pembuatan geometri turbin maka dilanjutkan dengan pembuatan geometri domain laut dan domain tabung ukurannya sesuai dengan tabel 3.3.



Gambar 3.7 Geometri Domain Tabung 3 Dimensi: a. Domain Tabung, b. Domain Tabung yang Sudah di Subtract dengan Turbin

Bentuk domain tabung ditunjukkan pada gambar 3.6(a). Domain laut dan domain tabung berfungsi untuk menggambarkan keadaan turbin yang sedang berputar akibat aliran arus laut. Simulasi pada penelitian ini menggunakan kondisi *steady state*, sehingga turbin dengan domain tabung di-*subtract* dengan domain tabung yang ditunjukkan pada gambar 3.6(b).



Gambar 3.8 Geometri Keseluruhan 3 Dimensi

Bentuk domain laut yang telah di-*subtract* dengan domain tabung serta keseluruhan geometri untuk simulasi turbin ditunjukkan pada gambar 3.7. Domain laut dan domain tabung juga di-*subtract*, domain laut menggambarkan fluida air laut yang akan membuat aliran fluida arus laut memutar turbin.

3.4.2 Meshing

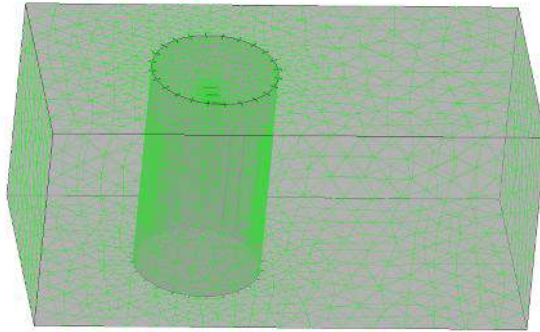
Meshing adalah suatu proses memecah geometri menjadi bagian-bagian yang kecil. Bagian-bagian terkecil ini juga sering disebut sebagai kontrol volum yang nantinya berfungsi sebagai perhitungan persamaan kondisi aliran fluida, seperti persamaan massa, momentum, kecepatan, dan energi. Semakin kecil ukuran *meshing* akan membuat daerah tersebut semakin detail perhitungan, namun tidak menentukan apakah dapat memberikan hasil yang lebih mendekati hasil eksperimen.

Didalam *meshing* juga dilakukan proses pendefinisian daerah (*region*) yang nantinya akan dijadikan kondisi batas pada proses *pre-processing*. Pendefinisian daerah yang dilakukan terdiri dari *hydrofoil*, *shaft*, *inlet*, *outlet*, selimut domain laut, dinding domain laut, dinding domain tabung serta selimut domain tabung. Ukuran *meshing* yang semakin kecil akan memberikan hasil simulasi yang baik, namun akan menyebabkan perhitungan komputasi CFD semakin lama. Sehingga ukuran daerah yang utama (domain laut dan domain tabung) berukuran yang lebih besar dibandingkan dengan ukuran *local mesh* (*blade* dan *shaft*). Ukuran *meshing* pada setiap daerah berbeda untuk mendapatkan hasil yang valid, hal ini ditunjukkan pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Ukuran Meshing Simulasi

Nama Bagian	Definisi Daerah	Keterangan Spasi Meshing	Ukuran Spasi Meshing
Turbin	Blade dan Shaft	Angular resolution, [degrees] 18	min : 0.0005 max : 0.1 m
Dinding	Dinding Laut dan Dinding Tabung	Angular resolution, [degrees] 18	min : 0.0095 max : 0.3 m
Inlet dan Opening	Inlet, Outlet, dan Opening	Angular resolution, [degrees] 18	min : 0.01 m max : 0.3 m
Selimut	Selimut Laut dan Selimut Tabung	Constant Resolution	Constant Edge Length: 0.05 m

Selain ukuran *meshing*, jenisnya pun mempengaruhi dari kualitas *meshing*. Jenis yang sering digunakan untuk 3 dimensi adalah jenis *tetrahedral mesh*.



Gambar 3.9 Hasil Geometri yang Sudah dilakukan *Meshing*

Gambar 3.8 menunjukkan hasil *meshing*, serta terlihat daerah yang mendekati turbin ukuran *meshing* semakin kecil. Jumlah total *tetrahedral mesh* pada domain total simulasi ini tergantung pada model turbin.

3.4.3 *Pre-Processing*

Proses *pre-processing* merupakan proses untuk mendefinisikan kondisi batas atau *boundary condition* pada domain yang telah dibuat. Setelah menentukan kondisi batas maka nilai-nilai parameter dimasukan sesuai dengan kondisi sebenarnya. Tipe analisis yang digunakan, yaitu analisis *steady state*. Kondisi batas yang didefinisikan pada tahap *pre processing* ini adalah sebagai berikut :

Kondisi Batas :

- a. Wall Box dan Wall Tabung : *Wall*
- b. Blade dan Shaft : *Wall*
- c. Aliran masuk : *Inlet*
- d. Aliran keluar, kanan dan kiri : *Opening*
- e. Selimut Laut dan Selimut Tabung : *Interface* Kondisi Kontinu
- d. Volume Domain Laut : *Fluid (Water)*
- e. Volume Domain Tabung : *Fluid (Water)*

Setelah melakukan pendefinisian kondisi batas pada domain dilanjutkan dengan proses inisialisasi kondisi batas tersebut. Pemberian inisialisasi pada kondisi batas tersebut secara detail dapat dilihat pada tabel 3.5:

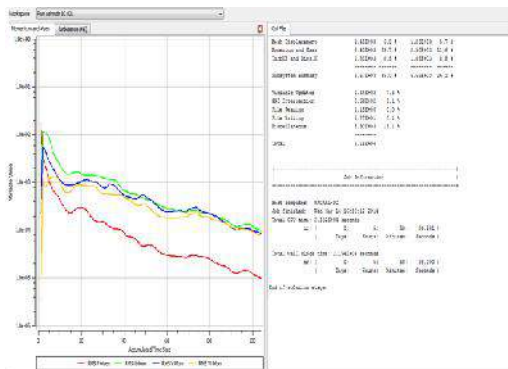
Tabel 3.5 Kondisi Batas untuk Simulasi

No	Kondisi Batas	Letak pada CFD	Inisialisai
1	Wall (wall laut dan wall tabung)	Atas dan bawah	<i>Wall, free slip</i>
2	Wall	Blade dan shaft	<i>Wall, no slip, rotating wall</i> dengan kecepatan RPM sesuai hasil ekstrapolasi
3	Inlet	Aliran masuk	Inlet, pemberian kecepatan sesuai kecepatan arus laut 0.5 – 1,5 m/s
4	Opening (Kanan, Kiri dan Aliran Keluar)	Aliran Keluar, Kanan dan Kiri	<i>Static Pres. and Dirn, low intensity dan pressure 0 Pa</i>
5	Domain Interface	Selimut Laut dan Selimut Tabung	Pendefinisian fluida (water-water)

Setelah semua proses pendefinisian kondisi batas telah selesai, maka dilanjutkan dengan mengatur kriteria konvergensi dengan mengatur nilai RMS *residual error* sebesar 0.0001.

3.4.4 Solver Iteration

Solver Iteration merupakan suatu proses melakukan perhitungan matematis dari data input model geometri hingga mencapai batas nilai error yang telah ditentukan sebelumnya. Pada saat proses *solver iteration* ini, semua perhitungan dilakukan dengan didasarkan pada kondisi yang disesuaikan saat pre processing. Pada proses *solver iteration* menggunakan CFD ini, sehingga simulasi dianggap selesai atau konvergen ketika nilai RMS (root mean square) error hasil perhitungan sudah mencapai 0.0001. Gambar 3.9 menunjukkan salah satu contoh selesainya perhitungan iterasi pada *solver iteration* ketika semua nilai RMS error sudah mencapai parameter yang ditentukan.

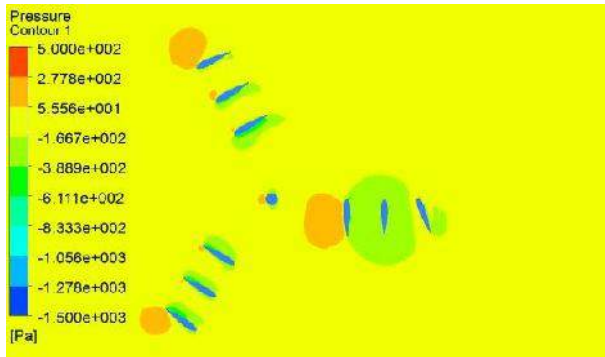


Gambar 3.10 Solver Iteration Selesai

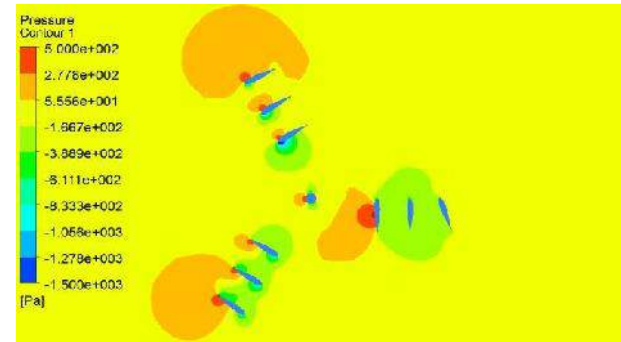
3.4.5 *Post-Pocessing*

Post processing merupakan hasil dari iterasi yang telah selesai. Dalam post processing biasanya dilakukan pengambilan data berupa nilai torsi, gaya, dan tekanan yang dihasilkan pada simulasi CFD. Nilai torsi yang didapatkan terhadap sumbu x, sumbu y dan sumbu z masing-masing komponen turbin. Hal ini pun sama ketika dilakukan pengambilan data nilai gaya. Namun nilai sumbu z tidak digunakan karena gaya gerak turbin hanya bergerak berputar pada sumbu x dan sumbu y. Setelah didapatkan nilai terhadap sumbu x dan sumbu y, dilakukan penjumlahan secara *phytagoras* untuk nilai torsi dan gaya. Data yang ditampilkan merupakan hasil *phytagoras* dari nilai torsi dan gaya terhadap sumbu x dan sumbu y.

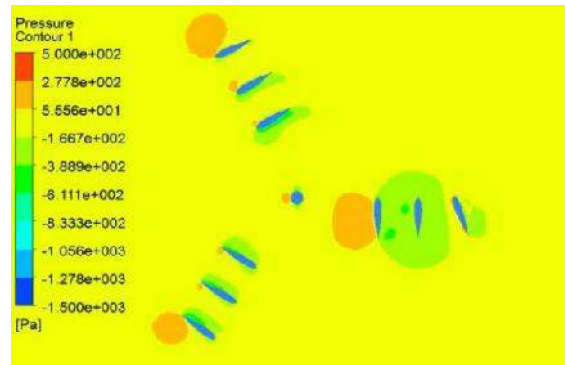
Serta kita dapat melihat profil aliran yang terjadi pada turbin, seperti kontur dan *streamline*. Kontur yang diambil adalah kontur tekanan turbin yang didapatkan dari fluida, serta *streamline* kecepatan fluida ketika melewati turbin. Geometri yang digunakan peneliti secara 3 dimensi, sehingga peneliti dapat melihat profil aliran fluida pada daerah turbin secara 3 dimensi. Untuk melihat secara 3 dimensi peneliti melakukan pengambilan data pada turbin bagian bawah, tengah dan atas. Gambar 3.10 menunjukkan profil aliran kontur tekanan pada turbin bagian bawah, tengah, dan atas. Serta pada gambar 3.11 menunjukkan profil aliran *streamline* kecepatan pada turbin bagian bawah, tengah, dan atas. Namun setelah melihat profil aliran yang terbentuk pada setiap daerah turbin, ternyata daerah pada turbin bagian tengah lebih jelas. Sehingga pada penelitian ini profil aliran yang dimasukkan dalam analisa daerah bagian tengah turbin.



(a)

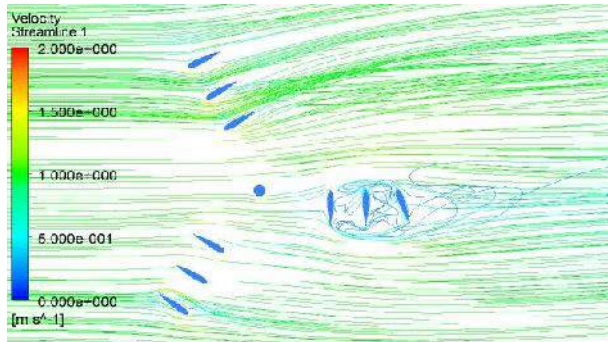


(b)

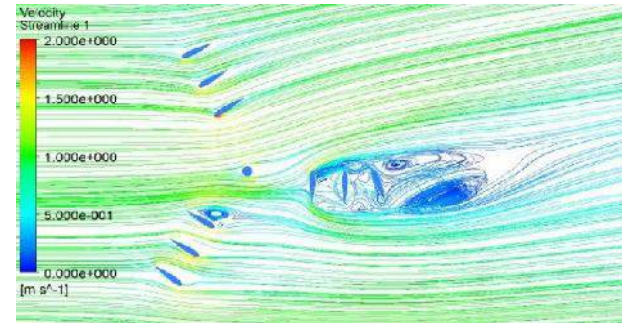


(c)

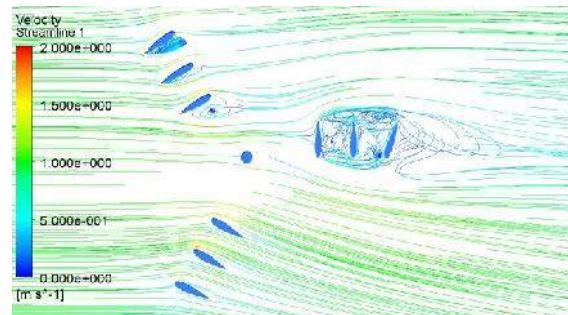
Gambar 3.11 Profil Aliran Kontur Tekanan 3 Dimensi: a. Turbin Bagian Bawah, b. Turbin Bagian Tengah, c. Turbin Bagian Atas



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.12 Profil Aliran *Streamline* Kecepatan 3 Dimensi: a. Turbin Bagian Bawah, b. Turbin Bagian Tengah, c. Turbin Bagian Atas

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi Hasil Simulasi

Validasi hasil merupakan proses untuk mendapatkan nilai parameter dari simulasi yang dianggap paling mendekati dengan nilai parameter dari eksperimen. Validasi hasil dilakukan dengan mengacu variasi model turbin dan pola pergerakan *hydrofoil* yang telah didapatkan dari eksperimental turbin selama pengujian. Geometri simulasi harus disesuaikan dengan posisi *hydrofoil* untuk satu putaran saat eksperimen. Serta terdapat tiga jenis model turbin, yaitu turbin 3 *hydrofoil* (model 1), turbin 6 *hydrofoil* dengan *cascade* 2 (model 2) dan turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade* 3 (model 3).

Proses validasi dilakukan dengan memberikan input kecepatan aliran fluida sesuai dengan kecepatan aliran saat eksperimen, bentuk dan ukuran geometri dari kondisi sebenarnya, spasi *meshing* serta kondisi batas yang hasilnya dianggap mendekati dengan hasil eksperimen. Pada penelitian ini variabel yang digunakan sebagai acuan validasi berupa nilai torsi yang dihasilkan saat eksperimen. Selain itu, turbin disimulasikan dengan kecepatan rotasinya sesuai dengan hasil eksperimen. Proses validasi hasil simulasi dilakukan pada satu kecepatan aliran yaitu pada kecepatan 1,1 m/s dengan memutar turbin sesuai dengan kecepatan rotasi yang dihasilkan oleh turbin saat pengujian turbin. Perbandingan hasil verifikasi simulasi yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Validasi Nilai Torsi Simulasi dengan Nilai Torsi Eksperimen

No	Model Turbin	Jumlah Elemen Mesh	Nilai Torsi (Nm)		
			Simulasi	Eksperimen	Error (%)
1	Model 1	5.751.044	30,54	29,53	3,43
2	Model 2	10.507.311	34,46	33,9	1,65
3	Model 3	15.437.330	40,39	38,89	3,84
Nilai rata-rata error					2,97

Berdasarkan tabel 4.1 diatas dapat diketahui bahwa *meshing* dan kondisi batas yang telah disimulasikan, nilai eror rata-rata yang didapatkan sebesar 2,97%. Selanjutnya, melakukan poses simulasi untuk ketiga variasi kecepatan yang lain (0,5 m/s; 1 m/s; 1,5 m/s) dengan 3 variasi model turbin.

4.2 Turbin 3 *Hydrofoil*

Prediksi kecepatan rotasi dari turbin 3 *hydrofoil* didapatkan dengan metode ekstrapolasi, maka nilai kecepatan rotasi tersebut digunakan sebagai input inisialisasi pada proses *pre-processing* simulasi CFD. Simulasi dilakukan dengan analisis *steady state* dengan 3 variasi kecepatan aliran dan 8 geometri yang berbeda karena menggunakan mekanisme *passive pitch*.

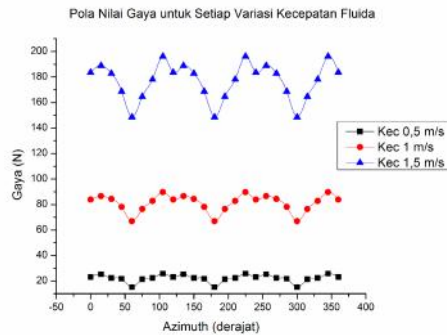
Pada simulasi tipe analisis *steady state* pengambilan data yang dilakukan untuk setiap sudut azimuth sesuai data yang ingin ditinjau, yaitu dengan cara membuat geometri yang banyak. Untuk penelitian ini, peneliti menginginkan hasil simulasi setiap 15° sudut azimuth, sehingga dibutuhkan 24 variasi geometri untuk 1 kecepatan aliran. Variasi geometri tidak dibuat sebanyak 24, namun hanya 8 geometri yang dibuat. Hal ini dikarenakan pada saat turbin akan berotasi 120° posisi *blade*

1 akan sama seperti posisi *blade* 2 ketika turbin ingin berotasi saat azimuth 0° , begitu pun ketika turbin akan berotasi 240° posisi *blade* 1 akan sama seperti posisi *blade* 3. Hasil akhir dari simulasi didapatkan dari proses *post-processing*, hasilnya berupa nilai gaya dan torsi. Selain itu, juga didapatkan profil aliran yang terjadi pada turbin berupa kontur tekanan dan *streamline* kecepatan.

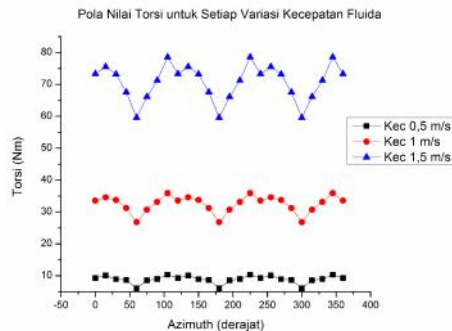
4.2.1 Pola Nilai Gaya dan Torsi untuk Setiap Variasi Kecepatan Arus Laut

Pada penelitian ini, peneliti melakukan 24 kali simulasi untuk mendapatkan hasil setiap sudut azimuth 15° pada 3 variasi kecepatan arus laut. Hasil yang didapatkan untuk setiap sudut 15° berupa nilai gaya, torsi serta profil aliran yang terjadi pada turbin. Pola sinusoidal terbentuk satu putaran penuh turbin (360°). Pola perubahan terjadi karena perubahan sudut serang dari masing-masing *blade* disetiap sudutnya. Gaya yang dihasilkan turbin dipengaruhi oleh tekanan fluida dan tekanan geser dinding benda. Energi kinetik dari fluida di konversi menjadi tekanan terhadap turbin, tekanan ini yang akan mengerjakan turbin.

Grafik nilai gaya dan torsi yang ditunjukkan gambar 4.1 untuk 3 variasi kecepatan arus laut pada setiap azimuth. Nilai terkecil dari gaya dan torsi turbin terjadi pada sudut azimuth 60° , 180° dan 300° . Hal ini terjadi karena tekanan dari fluida yang didapatkan pada sudut azimuth tersebut sangat kecil dibanding sudut azimuth lainnya. Nilai rata-rata tekanan yang didapatkan turbin sebesar 24.47 Pa (kec. 0,5 m/s), 165.77 Pa (kec. 1 m/s), dan 366.06 Pa (kec 1,5 m/s).



(a)

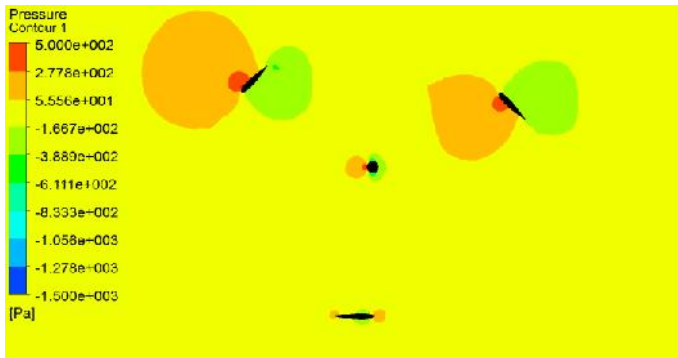


(b)

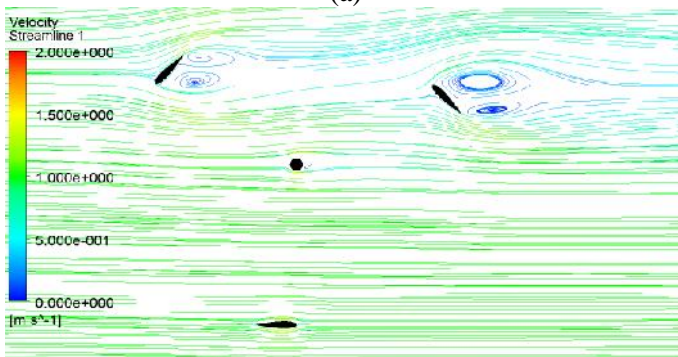
Gambar 4.1 Pola Nilai Gaya dan Torsi Turbin 3 *Hydrofoil* Hasil Simulasi Setiap Variasi Kecepatan Aliran: a. Pola Nilai Gaya, b. Pola Nilai Torsi

Untuk nilai terbesar gaya dan torsi terjadi pada sudut azimuth 105° , 225° dan 345° . Hal ini terjadi karena tekanan dari fluida yang didapatkan pada sudut azimuth tersebut sangat besar dibandingkan sudut azimuth lainnya. Nilai rata-rata

tekanan yang didapatkan sebesar 52.22 Pa (kec. 0,5 m/s), 185.17 Pa (kec. 1 m/s), dan 442.84 Pa (kec 1,5 m/s). Hal ini terjadi karena nilai gaya sebanding dengan nilai tekanan, sehingga apabila tekanan semakin besar maka gaya semakin besar dan sebaliknya.



(a)



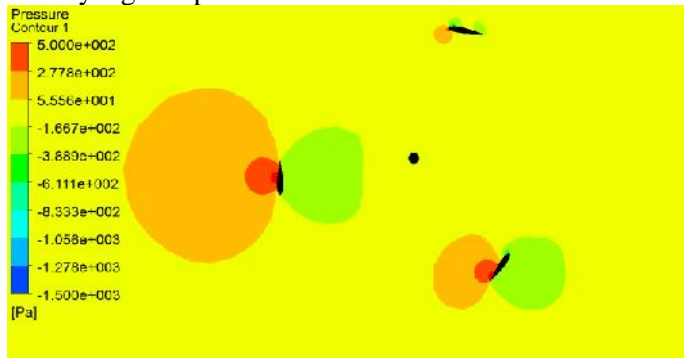
(b)

Gambar 4.2 Profil Aliran Hasil Simulasi Sudut Azimuth 60°, 180° dan 300° Turbin 3 *Hydrofoil*: a. Kontur Tekanan, b. *Streamline* Kecepatan

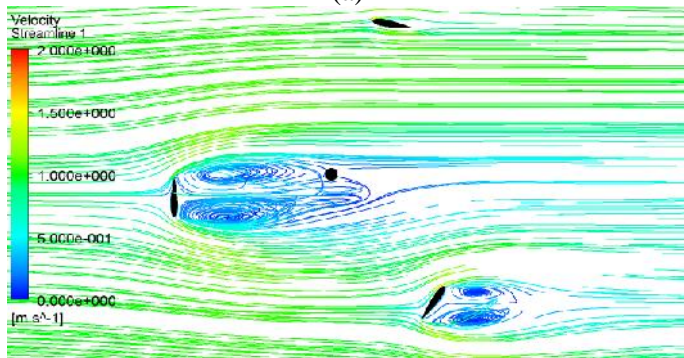
Selain nilai tekanan, hal ini dapat pula diperkuat dengan gambar 4.2 profil aliran yang menggambarkan kontur tekanan dan *streamline* kecepatan sudut azimuth 60° , 180° dan 300° . Gambar 4.2(a) menjelaskan kontur tekanan pada *blade* saat berada di sudut azimuth 180° tidak mendapatkan perbedaan tekanan yang besar di area permukaannya. Hal tersebut dijelaskan pada gambar 4.2(b) yang menunjukkan *streamline* kecepatan. Gambar 4.2(b) menunjukkan *blade* saat berada di sudut azimuth 180° perbedaan kecepatan aliran yang terjadi relatif kecil pada area *upstream* dengan *downstream* permukaan *blade*. Serta *streamline* kecepatan menunjukkan *blade* yang berada di sudut azimuth 300° mendapatkan kecepatan aliran yang lebih rendah karena vorteks. Vorteks yang terjadi akibat ekstraksi kecepatan aliran fluida yang dilakukan oleh *blade* disudut azimuth 60° . Dari gambar 4.2 didapatkan bahwa nilai tekanan setiap permukaan turbin sebanding dengan perbedaan kecepatan aliran yang mengenaanya, semakin kecil perbedaan kecepatan yang terjadi pada permukaan turbin maka semakin kecil nilai tekanan yang didapatkan.

Profil aliran berupa kontur tekanan dan *streamline* kecepatan pada gambar 4.3 menunjukkan turbin di sudut azimuth 105° , 225° dan 345° . Gambar 4.3(a) menunjukkan kontur tekanan pada *blade* saat berada di sudut azimuth 105° mendapatkan perbedaan tekanan yang besar di area permukaannya. Hal tersebut dijelaskan pada gambar 4.3(b) yang menunjukkan *streamline* kecepatan. Gambar 4.3 (b) menunjukkan *blade* saat berada di sudut azimuth 105° kecepatan aliran saat permukaan *upstream* berbeda jauh dengan permukaan posisi *downstream*. Perbedaan tersebut menandakan bahwa *blade* banyak mengekstrak energi dari fluida. Dari gambar 4.3 didapatkan bahwa nilai tekanan setiap permukaan turbin sebanding dengan perbedaan kecepatan

aliran yang mengenainya, semakin besar perbedaan kecepatan yang terjadi pada permukaan turbin maka semakin besar nilai tekanan yang didapatkan.



(a)



(b)

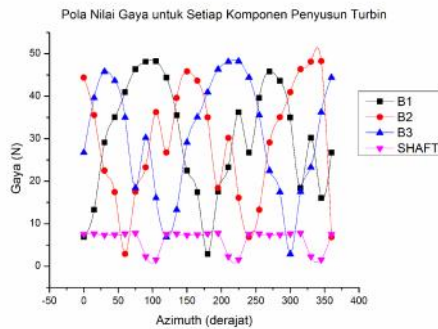
Gambar 4.3 Profil Aliran Hasil Simulasi Sudut Azimuth 105°, 225° dan 345° Turbin 3 *Hydrofoil*: a. Kontur Tekanan, b. *Streamline* Kecepatan

4.2.1 Pola Nilai Gaya dan Torsi untuk Setiap Komponen Penyusun Turbin

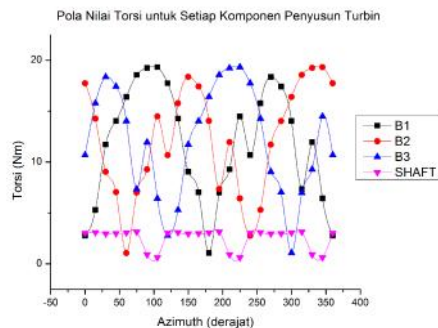
Hasil simulasi mampu melihat nilai gaya dan torsi pada masing-masing *blade* dan shaft. Hasil simulasi yang diteliti untuk masing-masing blade pada variasi kecepatan aliran 1 m/s. Pola perubahan terjadi karena perubahan sudut serang dari masing-masing *blade* disetiap sudutnya. Gaya yang dihasilkan turbin dipengaruhi oleh tekanan fluida dan tekanan geser dinding benda. Energi kinetik dari fluida di konversi menjadi tekanan terhadap *blade*, tekanan ini yang akan mengerakan *blade*. Serta profil aliran kontur tekanan dan *streamline* kecepatan yang tidak bisa dilihat oleh kasat mata.

Grafik nilai gaya dan torsi yang ditunjukkan gambar 4.4 untuk masing-masing *blade* dan shaft pada setiap azimuth. Dari grafik tersebut kita bisa melihat nilai gaya dan torsi yang terbesar dan terkecil. Nilai terbesar dari torsi dan gaya terjadi pada *blade* 1, *blade* 2, dan *blade* 3 dari turbin di sudut azimuth 105°, 225° dan 345°. Hal ini terjadi karena pada sudut tersebut *blade* mendapatkan tekanan dari fluida sangat besar dibanding komponen lainnya. Nilai tekanan yang didapatkan sebesar 294.25 Pa.

Untuk nilai terkecil dari torsi dan gaya terjadi pada *blade* 2, *blade* 3, dan *blade* 1 dari turbin di sudut azimuth 60°, 180° dan 300°. Hal ini terjadi karena pada sudut tersebut *blade* mendapatkan tekanan dari fluida sangat besar dibanding komponen lainnya. Nilai tekanan yang didapatkan sebesar 61.41 Pa. Hal ini terjadi karena nilai gaya sebanding dengan nilai tekanan, sehingga apabila tekanan semakin besar maka gaya semakin besar dan sebaliknya.



(a)

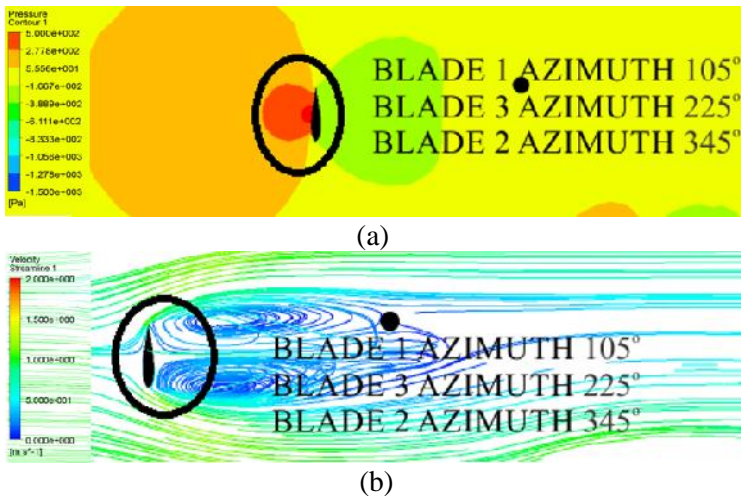


(b)

Gambar 4.4 Pola Nilai Gaya dan Torsi Turbin 3 *Hydrofoil* Hasil Simulasi Setiap Komponen Penyusun Turbin: a. Pola Nilai Gaya, b. Pola Nilai Torsi

Selain nilai tekanan, hal ini dapat pula diperkuat dengan gambar 4.5 profil aliran yang menggambarkan kontur tekanan dan *streamline* kecepatan pada *blade* 1, *blade* 2, dan *blade* 3 dari turbin di sudut azimuth 105° , 225° dan 345° . Gambar 4.5(a) menunjukkan kontur tekanan pada posisi tersebut terjadi perbedaan tekanan yang besar pada permukaan *upstream* dan

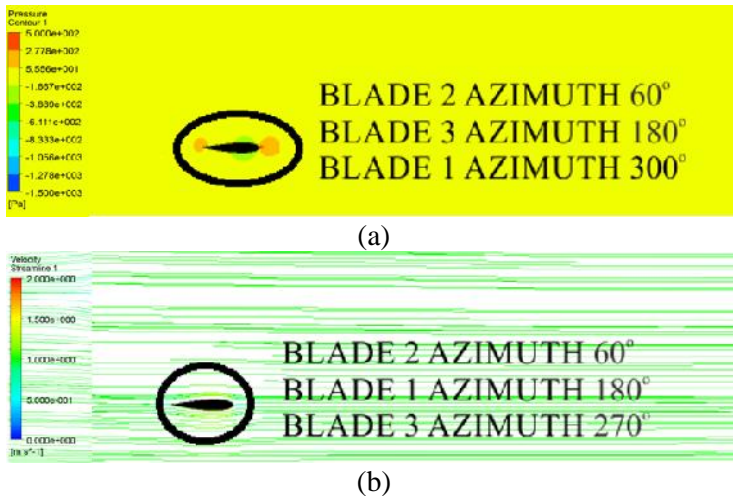
downstream blade. Dijelaskan pada gambar 4.5(b) yang menunjukkan *streamline* kecepatan. Pada posisi tersebut banyak mengekstrak energi, sehingga terjadi perbedaan kecepatan antara posisi *upstream* dan posisi *downstream* di permukaan *blade*. Dari gambar 4.5 didapatkan bahwa nilai tekanan *blade* sebanding dengan perbedaan kecepatan aliran yang mengenai permukaannya, semakin besar perbedaan kecepatan yang terjadi maka semakin besar nilai tekanan yang didapatkan.



Gambar 4.5 Profil Aliran Hasil pada *Blade 1*, *Blade 2*, dan *Blade 3* di Sudut Azimuth 105° , 225° dan 345° Turbin 3 *Hydrofoil*: a. Kontur Tekanan, b. *Streamline* Kecepatan

Gambar 4.6 menjelaskan profil aliran untuk kontur tekanan dan *streamline* kecepatan *blade 2*, *blade 1*, dan *blade 3* dari turbin di sudut azimuth 60° , 180° dan 300° . Gambar 4.6(a) pada sudut azimuth tersebut terjadi perbedaan tekanan yang relatif kecil di permukaan *upstream* dan *downstream blade*. Serta gambar 4.6(b) menunjukkan perbedaan kecepatan

aliran di permukaan *upstream* dan *downstream blade* sangat kecil. Sehingga dari gambar 4.6 didapatkan bahwa nilai tekanan *blade* sebanding dengan perbedaan kecepatan aliran di permukaannya, semakin kecil perbedaan kecepatan yang terjadi maka semakin kecil nilai tekanan yang didapatkan.



Gambar 4.6 Profil Aliran Hasil pada *Blade 2*, *Blade 1*, dan *Blade 3* di Sudut Azimuth 60° , 180° dan 300° Turbin 3 *Hydrofoil*: a. Kontur Tekanan, b. *Streamline* Kecepatan

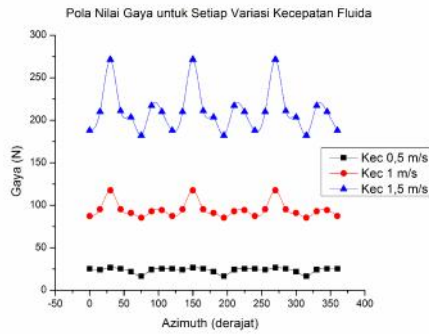
4.3 Turbin 6 *Hydrofoil* dengan *Cascade 2*

Prediksi kecepatan rotasi dari turbin 6 *hydrofoil* dengan *cascade 2* didapatkan dengan metode ekstrapolasi, maka nilai kecepatan rotasi tersebut digunakan sebagai input inisialisasi pada proses *pre-processing* simulasi CFD. Simulasi dilakukan dengan analisis *steady state* dengan 3 variasi kecepatan aliran dan 8 geometri yang berbeda karena menggunakan mekanisme *passive pitch* pada blade bagian terluar.

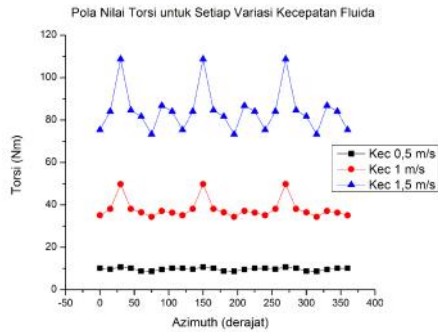
Pada simulasi tipe analisis *steady state* pengambilan data yang dilakukan untuk setiap sudut azimuth sesuai data yang ingin ditinjau, yaitu dengan cara membuat geometri yang banyak. Untuk penelitian ini, peneliti menginginkan hasil simulasi setiap 15° sudut azimuth, sehingga dibutuhkan 24 variasi geometri untuk 1 kecepatan aliran. Variasi geometri tidak dibuat sebanyak 24, namun hanya 8 geometri yang dibuat. Hal ini dikarena pada saat turbin akan berotasi 120° posisi blade 11 akan sama seperti posisi blade 21 ketika turbin ingin berotasi saat azimuth 0° , begitu pun ketika turbin akan berotasi 240° posisi blade 11 akan sama seperti posisi blade 31. Hasil akhir dari simulasi didapatkan dari proses *post-processing*, hasilnya berupa nilai gaya dan torsi. Selain itu, juga didapatkan profil aliran yang terjadi pada turbin berupa kontur tekanan dan *streamline* kecepatan.

4.3.1 Pola Nilai Gaya dan Torsi untuk Setiap Variasi Kecepatan Arus Laut

Pada penelitian ini, peneliti melakukan 24 kali simulasi untuk mendapatkan hasil setiap sudut azimuth 15° pada 3 variasi kecepatan aliran. Hasil yang didapatkan untuk setiap sudut 15° berupa nilai gaya, torsi serta profil aliran yang terjadi pada turbin. Pola sinusoidal terbentuk satu putaran penuh turbin (360°). Pola perubahan terjadi karena perubahan sudut serang dari masing-masing *blade* disetiap sudutnya. Gaya yang dihasilkan turbin dipengaruhi oleh tekanan fluida dan tekanan geser dinding benda. Energi kinetik dari fluida di konversi menjadi tekanan terhadap turbin, tekanan ini yang akan mengerjakan turbin.



(a)



(b)

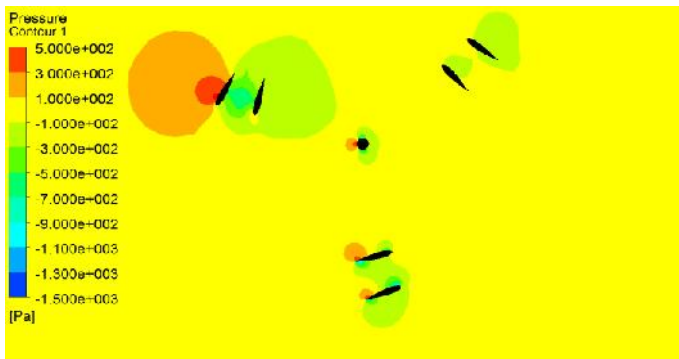
Gambar 4.7 Pola Nilai Gaya dan Torsi Turbin 6 *Hydrofoil* dengan *Cascade 2* Hasil Simulasi Setiap Variasi Kecepatan Aliran: a. Pola Nilai Gaya, b. Pola Nilai Torsi

Grafik nilai gaya dan torsi yang ditunjukkan gambar 4.7 untuk 3 variasi kecepatan aliran pada setiap azimuth. Nilai terkecil dari torsi dan gaya terjadi pada sudut azimuth 75° , 195° dan 315° . Hal ini terjadi karena pada sudut azimuth tersebut tekanan yang didapatkan dari fluida sangat kecil dibanding sudut azimuth lainnya. Nilai rata-rata tekanan yang didapatkan

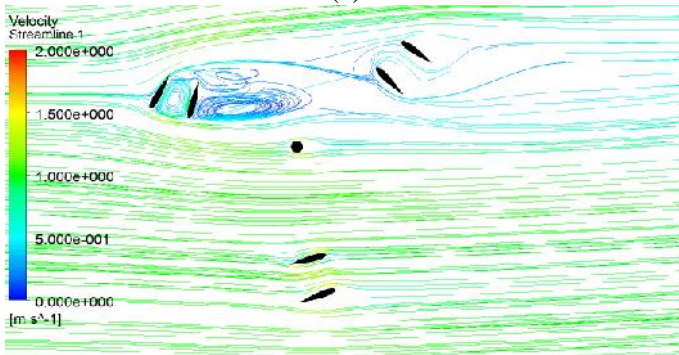
sebesar 53.80 Pa (kec. 0,5 m/s), 211.33 Pa (kec. 1 m/s), dan 458.70 Pa (kec 1,5 m/s).

Untuk nilai terbesar gaya dan torsi terjadi pada sudut azimuth 30°, 150° dan 270°. Hal ini terjadi karena pada sudut azimuth tersebut tekanan yang didapatkan dari fluida sangat besar dibandingkan sudut azimuth lainnya. Nilai rata-rata tekanan yang didapatkan sebesar 69.16 Pa (kec. 0,5 m/s), 338.53 Pa (kec. 1 m/s), dan 753.73 Pa (kec 1,5 m/s). Hal ini terjadi karena nilai gaya sebanding dengan nilai tekanan, sehingga apabila tekanan semakin besar maka gaya semakin besar dan sebaliknya.

Selain nilai tekanan, hal ini dapat pula diperkuat dengan gambar 4.8 profil aliran yang menggambarkan kontur tekanan dan *streamline* kecepatan sudut azimuth 75°, 195° dan 315°. Gambar 4.8(a) menunjukkan *blade-blade* pada saat berada di sudut azimuth tersebut tidak memiliki perbedaan tekanan yang signifikan di setiap permukaannya. Serta gambar 4.8(b) menunjukkan *blade-blade* yang berada di sudut azimuth 75° terjadi vorteks pada aliran dibelakangnya. Hal tersebut mengakibatkan kecepatan aliran berkurang ketika melewati *blade-blade* di sudut azimuth 315°. Sehingga *blade-blade* di sudut azimuth 315° terjadi perbedaan selisih kecepatan yang relatif kecil pada area permukaan *upstream* dan *downstream blade*. Dari gambar 4.8 didapatkan bahwa nilai tekanan turbin sebanding dengan perbedaan kecepatan aliran yang mengenai, semakin kecil perbedaan kecepatan yang terjadi maka semakin kecil nilai tekanan yang didapatkan.



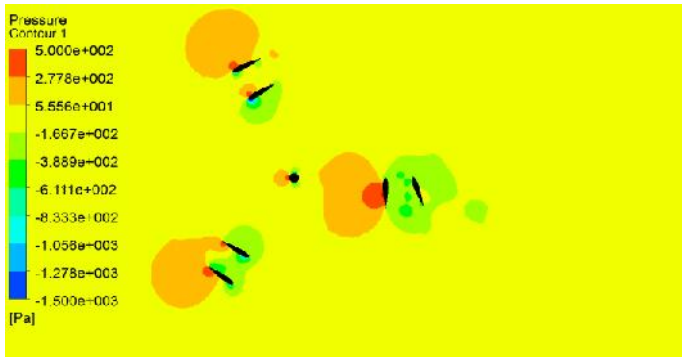
(a)



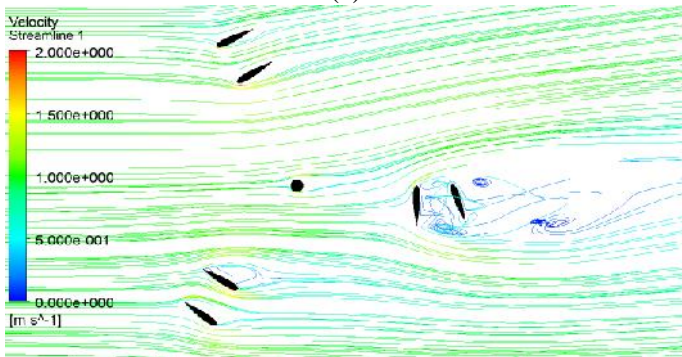
(b)

Gambar 4.8 Profil Aliran Hasil Simulasi Sudut Azimuth 75° , 195° dan 315° Turbin 6 *Hydrofoil* dengan *Cascade 2*: a. Kontur Tekanan, b. *Streamline* Kecepatan

Gambar 4.9 menjelaskan profil aliran kontur tekanan dan *streamline* kecepatan di sudut azimuth 30° , 150° dan 270° . Gambar 4.9(a) menunjukkan setiap *blade* pada sudut azimuth tersebut mendapatkan perbedaan tekanan yang besar setiap areanya permukaannya.



(a)



(b)

Gambar 4.9 Profil Aliran Hasil Simulasi Sudut Azimuth 30° , 150° dan 270° Turbin 6 *Hydrofoil* dengan *Cascade 2*: a. Kontur Tekanan, b. *Streamline* Kecepatan

Gambar 4.9(b) menunjukkan *blade-blade* disaat berada di sudut azimuth 270° tidak mengalami pengurangan kecepatan aliran dari *blade-blade* yang berada di depannya. Serta setiap *blade* terjadi perbedaan selisih kecepatan yang besar pada area permukaan *downstream* dan *upstream blade*. Gambar 4.9 dapatkan bahwa nilai tekanan turbin sebanding dengan

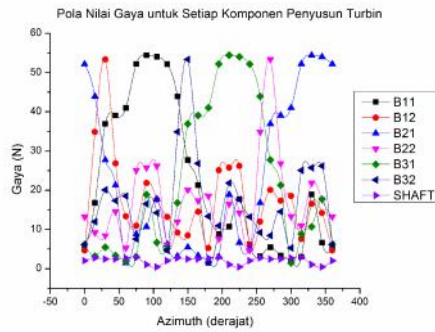
perbedaan kecepatan aliran yang mengenainya, semakin besar perbedaan kecepatan yang terjadi maka semakin besar nilai tekanan yang didapatkan.

4.3.2 Pola Nilai Gaya dan Torsi untuk Setiap Komponen Penyusun Turbin

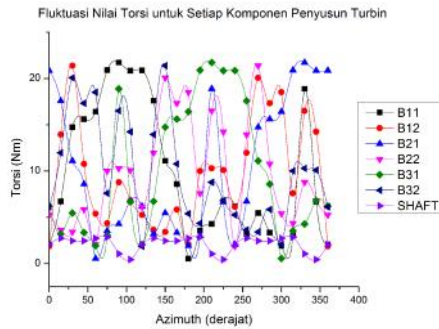
Hasil simulasi mampu melihat nilai gaya dan torsi pada masing-masing *blade* dan shaft. Hasil simulasi yang diteliti untuk masing-masing blade pada variasi kecepatan aliran 1 m/s. Pola perubahan terjadi karena perubahan sudut serang dari masing-masing *blade* disetiap sudutnya. Gaya yang dihasilkan turbin dipengaruhi oleh tekanan fluida dan tekanan geser dinding benda. Energi kinetik dari fluida di konversi menjadi tekanan terhadap *blade*, tekanan ini yang akan mengerakan *blade*. Serta profil aliran kontur tekanan dan *streamline* kecepatan yang tidak bisa dilihat oleh kasat mata.

Grafik nilai gaya dan torsi yang ditunjukan gambar 4.10 untuk masing-masing *blade* dan shaft pada setiap azimuth. Nilai terbesar dari torsi dan gaya terjadi pada *blade* 12, *blade* 22, dan *blade* 32 dari turbin di sudut azimuth 30°, 150° dan 270°. Hal ini terjadi karena pada sudut tersebut *blade* mendapatkan tekanan dari fluida sangat besar dibanding komponen lainnya. Nilai tekanan yang didapatkan sebesar 638.91 Pa.

Nilai terkecil dari torsi dan gaya terjadi pada *blade* 12, *blade* 22 dan *blade* 32 dari turbin untuk sudut azimuth 0°, 120° dan 240°. Hal ini terjadi karena pada sudut tersebut *blade* mendapatkan tekanan dari fluida sangat kecil dibanding komponen lainnya. Nilai tekanan yang didapatkan sebesar 8.88 Pa. Hal ini terjadi karena nilai gaya sebanding dengan nilai tekanan, sehingga apabila tekanan semakin besar maka gaya semakin besar dan sebaliknya.



(a)

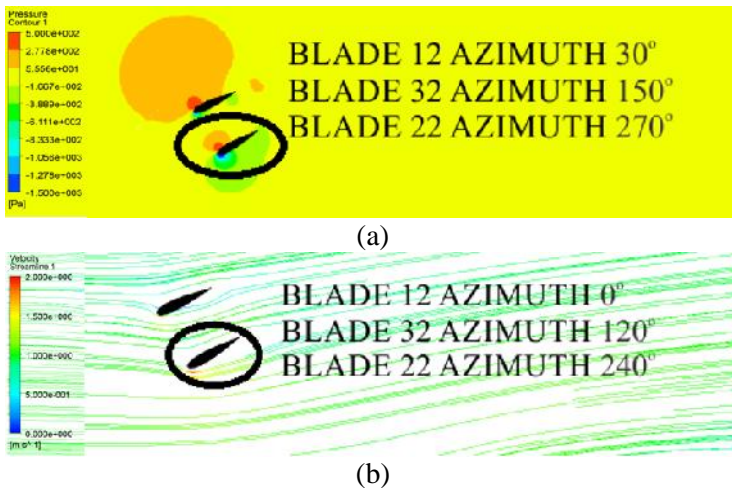


(b)

Gambar 4.10 Pola Nilai Gaya dan Torsi Turbin 6 *Hydrofoil* dengan *Cascade 2* Hasil Simulasi Setiap Komponen Penyusun Turbin: a. Pola Nilai Gaya, b. Pola Nilai Torsi

Selain nilai tekanan, hal ini dapat pula diperkuat oleh gambar 4.11 profil aliran yang menggambarkan kontur tekanan dan *streamline* kecepatan pada *blade* 12, *blade* 22, dan *blade* 32 dari turbin di sudut azimuth 30° , 150° dan 270° . Gambar 4.11(a) menunjukkan pada posisi tersebut terjadi perbedaan tekanan yang cukup besar antara permukaan *upstream* dan

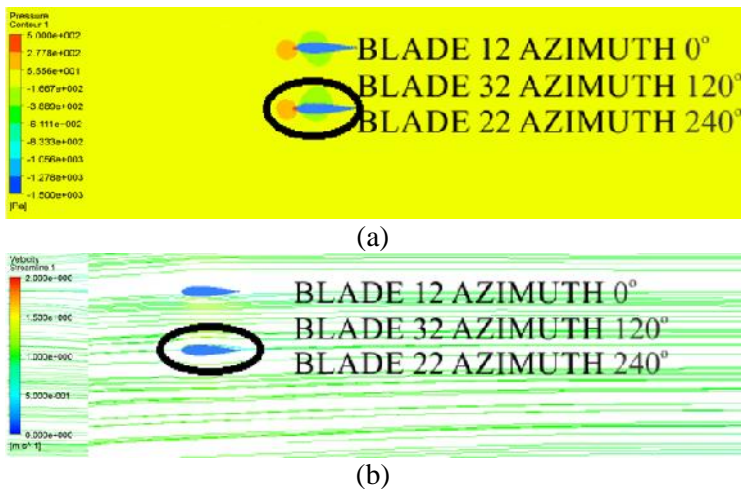
downstream blade. Untuk gambar 4.11(b) menunjukkan perbedaan kecepatan yang sangat besar antara permukaan *upstream* dan *downstream blade*. Sehingga dari gambar 4.11 didapatkan bahwa nilai tekanan *blade* sebanding dengan perbedaan kecepatan aliran yang mengenainya, semakin besar perbedaan kecepatan yang terjadi maka semakin besar nilai tekanan yang didapatkan.



Gambar 4.11 Profil Aliran Hasil pada *Blade* 12, *Blade* 32, dan *Blade* 22 di Sudut Azimuth 30°, 150° dan 270° Turbin 6 *Hydrofoil* dengan *Cascade* 2: a. Kontur Tekanan, b. *Streamline* Kecepatan

Gambar 4.12 menjelaskan profil aliran kontur tekanan dan *streamline* kecepatan pada *blade* 12, *blade* 32 dan *blade* 22 dari turbin untuk sudut azimuth 0°, 120° dan 240°. Gambar 4.12(a) menunjukkan pada *blade* perbedaan selisih tekanan yang terjadi sangat kecil antara permukaan *upstream* dan *downstream blade*. Serta gambar 4.12(b) menunjukkan

perbedaan kecepatan yang sangat kecil pada permukaan *upstream* dan *downstream blade*. Sehingga dari gambar 4.12 didapatkan bahwa nilai tekanan *blade* sebanding dengan perbedaan kecepatan aliran yang mengenainya, semakin kecil perbedaan kecepatan yang terjadi maka semakin kecil nilai tekanan yang didapatkan.



Gambar 4.12 Profil Aliran Hasil pada *Blade 12*, *Blade 32*, dan *Blade 22* di Sudut Azimuth 0°, 120° dan 240° Turbin 6 *Hydrofoil* dengan *Cascade 2*: a. Kontur Tekanan, b. *Streamline* Kecepatan

4.4 Turbin 9 *Hydrofoil* dengan *Cascade 3*

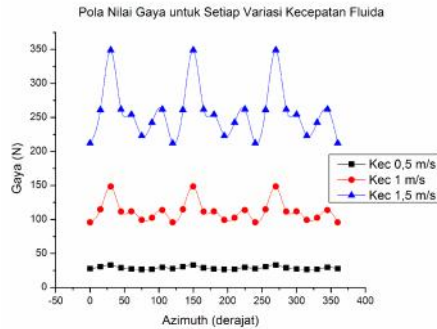
Prediksi kecepatan rotasi dari turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade 3* didapatkan dengan metode ekstrapolasi, maka nilai kecepatan rotasi tersebut digunakan sebagai input inisialisasi pada proses *pre-processing* simulasi CFD. Simulasi dilakukan dengan analisis *steady state* dengan 3 variasi kecepatan aliran

dan 8 geometri yang berbeda karena menggunakan mekanisme *passive pitch* pada blade bagian terluar.

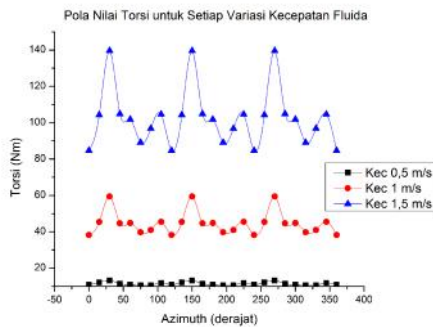
Pada simulasi tipe analisis *steady state* pengambilan data yang dilakukan untuk setiap sudut azimuth sesuai data yang ingin ditinjau, yaitu dengan cara membuat geometri yang banyak. Untuk penelitian ini, peneliti menginginkan hasil simulasi setiap 15° sudut azimuth, sehingga dibutuhkan 24 variasi geometri untuk 1 kecepatan aliran. Variasi geometri tidak dibuat sebanyak 24, namun hanya 8 geometri yang dibuat. Hal ini dikarena pada saat turbin akan berotasi 120° posisi blade 11 akan sama seperti posisi blade 21 ketika turbin ingin berotasi saat azimuth 0° , begitu pun ketika turbin akan berotasi 240° posisi blade 11 akan sama seperti posisi blade 31. Hasil akhir dari simulasi didapatkan dari proses *post-processing*, hasilnya berupa nilai gaya dan torsi. Selain itu, juga didapatkan profil aliran yang terjadi pada turbin berupa kontur tekanan dan *streamline* kecepatan.

4.4.1 Pola Nilai Gaya dan Torsi untuk Setiap Variasi Kecepatan Arus Laut

Pada penelitian ini, peneliti melakukan 24 kali simulasi untuk mendapatkan hasil setiap sudut azimuth 15° pada 3 variasi kecepatan aliran. Hasil yang didapatkan untuk setiap sudut 15° berupa nilai gaya, torsi serta profil aliran yang terjadi pada turbin. Pola sinusoidal terbentuk satu putaran penuh turbin (360°). Pola perubahan terjadi karena perubahan sudut serang dari masing-masing *blade* disetiap sudutnya. Gaya yang dihasilkan turbin dipengaruhi oleh tekanan fluida dan tekanan geser dinding benda. Energi kinetik dari fluida di konversi menjadi tekanan terhadap turbin, tekanan ini yang akan mengerakan turbin.



(a)



(b)

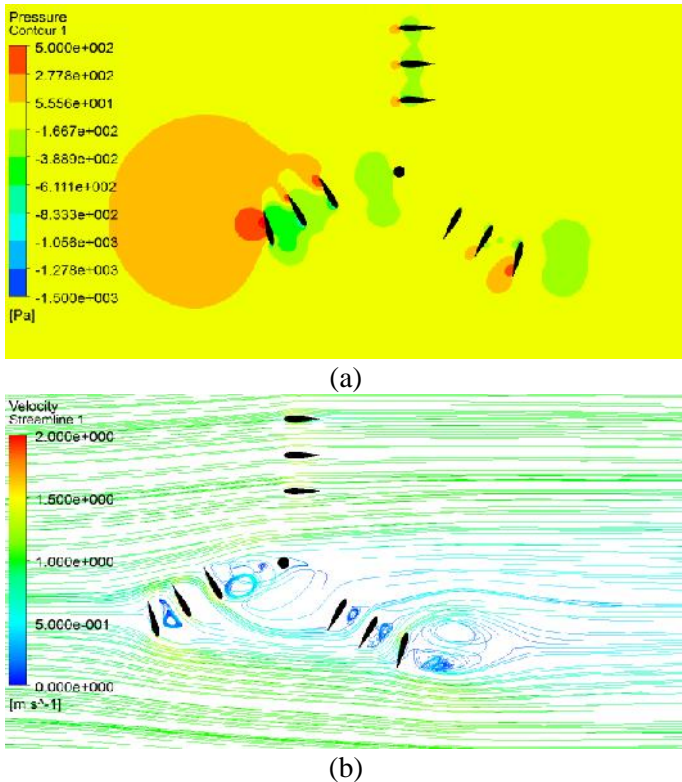
Gambar 4.13 Pola Nilai Gaya dan Torsi Turbin 9 *Hydrofoil* dengan *Cascade 3* Hasil Simulasi Setiap Variasi Kecepatan Aliran: a. Pola Nilai Gaya, b. Pola Nilai Torsi

Grafik nilai gaya dan torsi yang ditunjukkan gambar 4.13 untuk 3 variasi kecepatan aliran pada setiap azimuth. Nilai terkecil dari torsi dan gaya terjadi pada sudut azimuth 0° , 120° dan 240° . Hal ini terjadi karena pada sudut azimuth tersebut, tekanan yang didapatkan dari fluida sangat kecil dibanding sudut azimuth lainnya. Nilai rata-rata tekanan yang didapatkan

sebesar 32.57 Pa (kec. 0,5 m/s), 114.9 Pa (kec. 1 m/s), dan 250.27 Pa (kec 1,5 m/s).

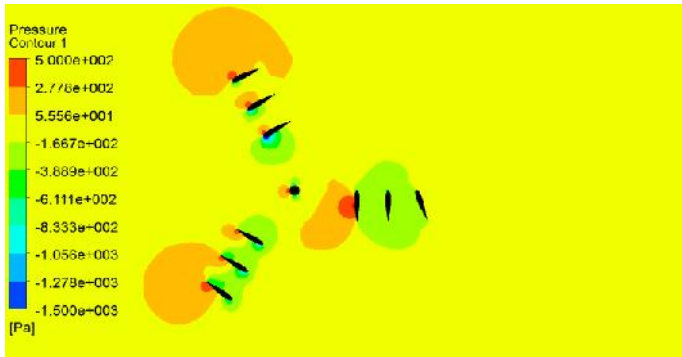
Untuk nilai terbesar gaya dan torsi terjadi pada sudut azimuth 30°, 150° dan 270°. Hal ini terjadi karena pada sudut azimuth tersebut, tekanan yang didapatkan dari fluida sangat besar dibandingkan sudut azimuth lainnya. Nilai rata-rata tekanan yang didapatkan sebesar 78.23 Pa (kec. 0,5 m/s), 298.77 Pa (kec. 1 m/s), dan 677.57 Pa (kec 1,5 m/s). Hal ini terjadi karena nilai gaya sebanding dengan nilai tekanan, sehingga apabila tekanan semakin besar maka gaya semakin besar dan sebaliknya.

Selain nilai tekanan, hal ini dapat pula diperkuat dengan gambar 4.14 profil aliran yang menggambarkan kontur tekanan dan *streamline* kecepatan sudut azimuth 0°, 120° dan 240°. Gambar 4.14(a) menunjukkan pada *blade-blade* saat berada di sudut azimuth 0° tidak memiliki perbedaan tekanan yang signifikan antara permukaan *upstream* dan *downstream blade*. Serta gambar 4.14(b) *blade-blade* saat berada di sudut azimuth 120° terjadi vorteks pada aliran dibelakangnya. Hal tersebut mengakibatkan kecepatan aliran berkurang ketika melewati *blade-blade* di sudut azimuth 240°. Serta *blade-blade* di sudut azimuth 0° terjadi perbedaan selisih kecepatan yang relatif kecil pada permukaan *upstream* dengan *downstream* setiap *blade*. Sehingga dari gambar 4.14 didapatkan bahwa nilai tekanan turbin sebanding dengan perbedaan kecepatan aliran yang mengenaanya, semakin kecil perbedaan kecepatan yang terjadi maka semakin kecil nilai tekanan yang didapatkan.

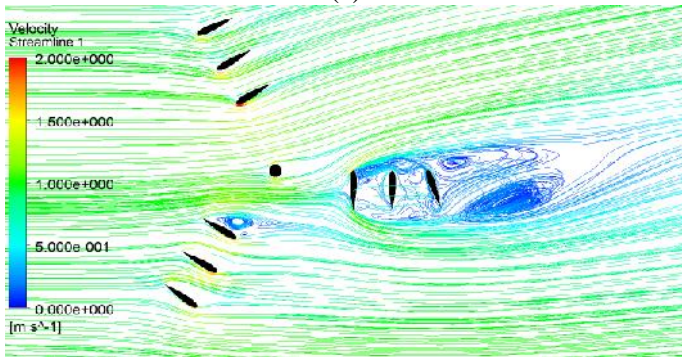


Gambar 4.14 Profil Aliran Hasil Simulasi Sudut Azimuth 0°, 120° dan 240° Turbin 9 *Hydrofoil* dengan *Cascade 3*: a. Kontur Tekanan, b. *Streamline* Kecepatan

Gambar 4.15 menjelaskan profil aliran kontur tekanan dan *streamline* kecepatan di sudut azimuth 30°, 150° dan 270°. Gambar 4.15(a) menunjukkan setiap *blade* pada sudut azimuth tersebut mendapatkan perbedaan tekanan yang besar setiap area permukaan antara *upstream* dan *downstream* setiap *blade*.



(a)



(b)

Gambar 4.15 Profil Aliran Hasil Simulasi Sudut Azimuth 30°, 150° dan 270° Turbin 9 *Hydrofoil* dengan *Cascade 3*: a. Kontur Tekanan, b. *Streamline* Kecepatan

Untuk Gambar 4.15(b) menunjukkan *blade-blade* disaat berada di sudut azimuth 270° tidak mengalami pengurangan kecepatan aliran dari *blade-blade* pada sudut azimuth yang lain. Serta pada setiap *blade* terjadi perbedaan selisih kecepatan yang besar pada permukaan *downstream* dan *upstream blade*. Sehingga dari gambar 4.15 didapatkan bahwa nilai tekanan

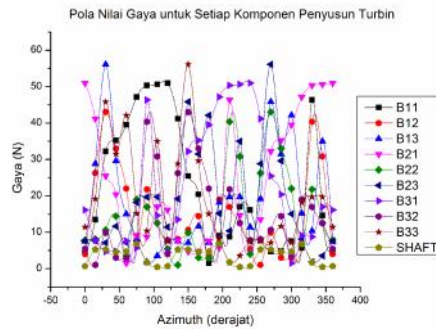
turbin sebanding dengan perbedaan kecepatan aliran yang mengenainya, semakin besar perbedaan kecepatan yang terjadi maka semakin besar nilai tekanan yang didapatkan.

4.4.2 Pola Nilai Gaya dan Torsi untuk Setiap Komponen Penyusun Turbin

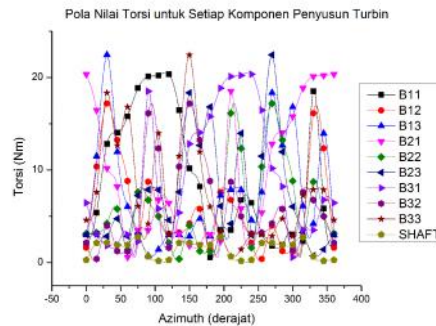
asil simulasi mampu melihat nilai gaya dan torsi pada masing-masing *blade* dan shaft. Hasil simulasi yang diteliti untuk masing-masing blade pada variasi kecepatan aliran 1 m/s. Pola perubahan terjadi karena perubahan sudut serang dari masing-masing *blade* disetiap sudutnya. Gaya yang dihasilkan turbin dipengaruhi oleh tekanan fluida dan tekanan geser dinding benda. Energi kinetik dari fluida di konversi menjadi tekanan terhadap *blade*, tekanan ini yang akan mengerakan *blade*. Serta profil aliran kontur tekanan dan *streamline* kecepatan yang tidak bisa dilihat oleh kasat mata.

Grafik nilai gaya dan torsi yang ditunjukan gambar 4.16 untuk masing-masing *blade* dan shaft pada setiap azimuth. Nilai terbesar dari torsi dan gaya terjadi pada *blade* 13, *blade* 23, dan *blade* 33 dari turbin di sudut azimuth 30°, 150° dan 270°. Hal ini terjadi karena pada sudut tersebut *blade* mendapatkan tekanan dari fluida sangat besar dibanding komponen lainnya. Nilai tekanan yang didapatkan sebesar 585.97 Pa.

Nilai terkecil dari torsi dan gaya terjadi pada *blade* 13, *blade* 23 dan *blade* 33 dari turbin untuk sudut azimuth 0°, 120° dan 240°. Hal ini terjadi karena pada sudut tersebut *blade* mendapatkan tekanan dari fluida sangat kecil dibanding komponen lainnya. Nilai tekanan yang didapatkan sebesar 13.9 Pa. Hal ini terjadi karena nilai gaya sebanding dengan nilai tekanan, sehingga apabila tekanan semakin besar maka gaya semakin besar dan sebaliknya



(a)

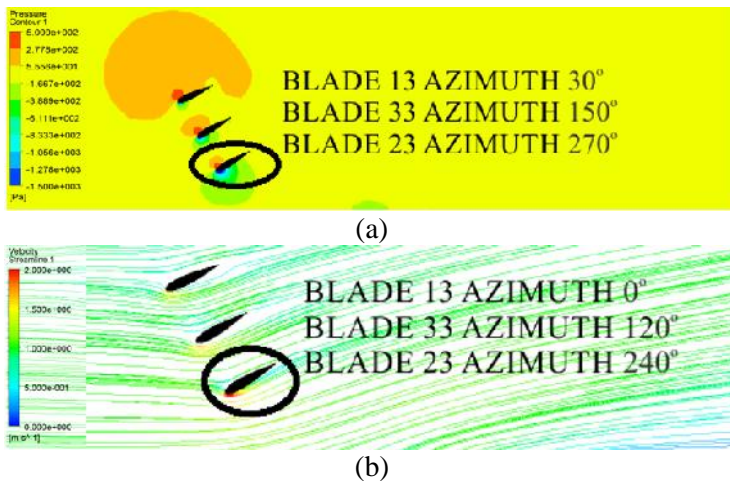


(b)

Gambar 4.16 Pola Nilai Gaya dan Torsi Turbin 9 *Hydrofoil* dengan *Cascade 3* Hasil Simulasi Setiap Komponen Penyusun Turbin: a. Pola Nilai Gaya, b. Pola Nilai Torsi

Selain nilai tekanan, hal ini dapat pula diperkuat oleh gambar 4.17 profil aliran yang menggambarkan kontur tekanan dan *streamline* kecepatan pada *blade 13*, *blade 23*, dan *blade 33* dari turbin di sudut azimuth 30° , 150° dan 270° . Gambar 4.17(a) menunjukkan perbedaan selisih tekanannya sangat besar antara permukaan *upstream* dan *downstream blade*. Serta

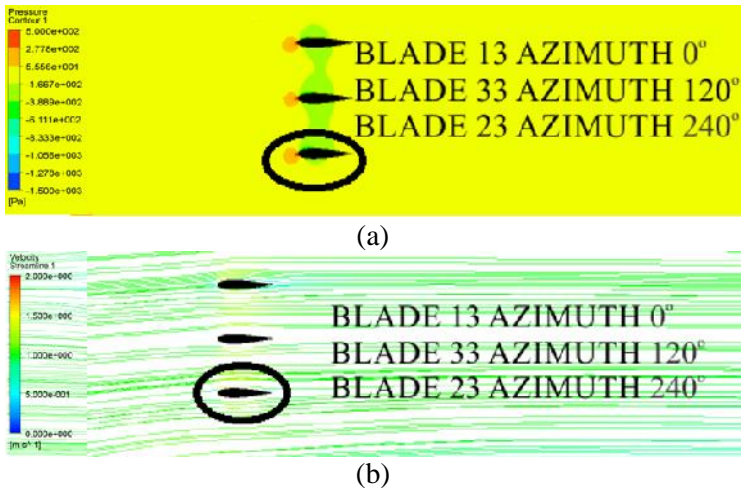
gambar 4.17(b) menunjukkan perbedaan kecepatan yang sangat besar antara permukaan *upstream* dan *downstream blade*. Sehingga dari gambar 4.17 didapatkan bahwa nilai tekanan turbin sebanding dengan perbedaan kecepatan aliran yang mengenainya, semakin besar perbedaan kecepatan yang terjadi maka semakin besar nilai tekanan yang didapatkan.



Gambar 4.17 Profil Aliran Hasil pada *Blade 13*, *Blade 33*, dan *Blade 23* di Sudut Azimuth 30°, 150° dan 270° Turbin 9 *Hydrofoil* dengan *Cascade 3*: a. Kontur Tekanan, b. *Streamline* Kecepatan

Gambar 4.18 menjelaskan profil aliran kontur tekanan dan *streamline* kecepatan pada *blade 13*, *blade 33* dan *blade 23* dari turbin untuk sudut azimuth 0°, 120° dan 240°. Gambar 4.18(a) menunjukkan pada *blade* terjadi perbedaan selisih tekanan relatif kecil antara permukaan *upstream* dan *downstream blade*. Serta gambar 4.18(b) menunjukkan perbedaan kecepatan sangat antara permukaan *upstream* dan

downstream blade. Sehingga dari gambar 4.18 didapatkan bahwa nilai tekanan sebanding dengan perbedaan kecepatan aliran yang mengenainya, semakin kecil perbedaan kecepatan yang terjadi maka semakin kecil nilai tekanan yang didapatkan.

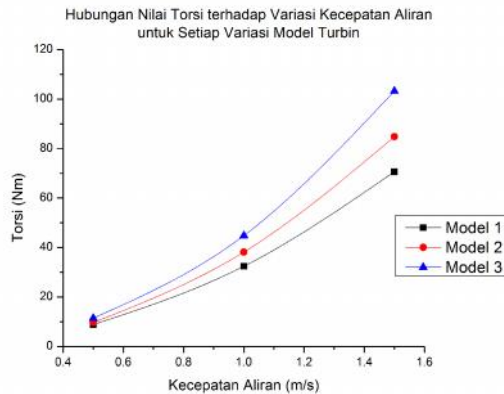


Gambar 4.18 Profil Aliran Hasil pada *Blade 13*, *Blade 33*, dan *Blade 23* di Sudut Azimuth 0°, 120° dan 240° Turbin 9 *Hydrofoil* dengan *Cascade 3*: a. Kontur Tekanan, b. *Streamline* Kecepatan

4.5 Diskusi Pengaruh Jumlah *Hydrofoil* terhadap Karakteristik Turbin Arus Laut

Turbin arus laut memiliki karakteristik yang salah satunya adalah torsi. Torsi dipengaruhi oleh gaya-gaya yang terjadi karena adanya interaksi turbin dengan aliran arus laut. Interaksi turbin mengindikasikan bahwa terjadi ekstraksi energi kinetik arus laut oleh turbin, sehingga turbin memiliki energi untuk bergerak. Berdasarkan analisa data tiap model atau jenis turbin

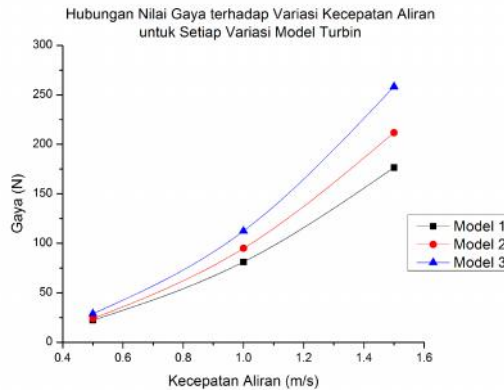
arus laut yang telah dilakukan simulasi, maka dapat dihubungkan antara pengaruh jumlah *hydrofoil* terhadap torsi dan gaya yang dihasilkan turbin. Analisa dilakukan dengan menggunakan 3 variasi model turbin, yaitu turbin 3 *hydrofoil* (Model 1), turbin 6 *hydrofoil* dengan *cascade* 2 (Model 2), dan turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade* 3 (Model 3).



Gambar 4.19 Hubungan Nilai Torsi terhadap Variasi Kecepatan Aliran untuk Setiap Variasi Model Turbin

Gambar 4.19 menunjukkan hubungan nilai torsi yang dihasilkan oleh turbin 3 *hydrofoil*, 6 *hydrofoil* dengan *cascade* 2, dan 9 *hydrofoil* dengan *cascade* 3 terhadap kecepatan aliran arus laut. Berdasarkan gambar 3.19 semakin besar kecepatan aliran maka semakin besar torsi yang dihasilkan dari turbin. Hal ini terjadi karena banyak gaya yang bekerja pada tiap komponen turbin. Serta didapatkan pula bahwa terjadi peningkatan torsi tiap perubahan model, model turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade* 3 memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan model lainnya. Karena gaya yang

didapatkan pada model tersebut besar dibandingkan dengan model yang lain.

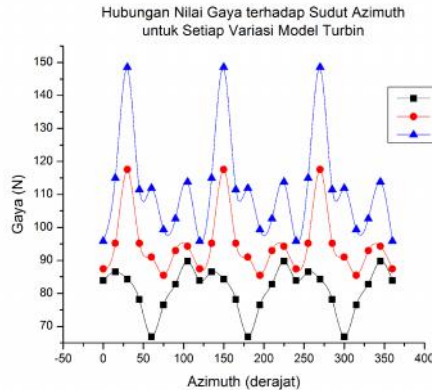


Gambar 4.20 Hubungan Nilai Gaya terhadap Variasi Kecepatan Aliran untuk Setiap Variasi Model Turbin

Pada gambar 4.20 kita dapat mengetahui bahwa model turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade 3* menghasilkan gaya yang besar karena jumlah komponen yang lebih banyak dibanding dengan model yang lainnya. Gaya-gaya yang terjadi pada setiap variasi turbin dihasilkan oleh tekanan yang diberikan oleh arus laut. Pada kecepatan aliran arus laut 1,5 m/s didapatkan nilai tekanan total yang didapatkan sebesar 1771 Pa untuk model 1, 5276.1 Pa untuk model 2 dan 6775.7 Pa untuk model 3. Sehingga tekanan yang didapatkan oleh turbin turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade 3* sangat lah besar dibanding dengan model yang lainnya. Hal ini terjadi karena nilai gaya sebanding dengan nilai tekanan yang didapatkan, semakin besar tekanan akan semakin besar pula gaya yang dihasilkan dan sebaliknya.

Perbedaan model turbin menyebabkan perbedaan pola nilai torsi yang dihasilkan. Pola nilai gaya yang berhubungan

dengan variasi model setiap sudut azimuth, pola ini ditunjukkan oleh gambar 4.21 pada satu variasi kecepatan aliran 1 m/s.

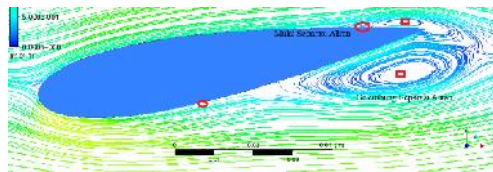


Gambar 4.21 Pola Nilai Gaya dengan Variasi Model Turbin di Setiap Sudut Azimuth

Pada gambar 4.21 dapat diketahui pola yang terjadi setiap model berbeda. Hal ini terjadi karena luas area sapuan lebih banyak turbin dengan *casade* dibandingkan dengan turbin *single*. Terlihat pada nilai minimum gaya yang dihasilkan turbin *single* ataupun dengan *cascade* untuk sudut azimuth tertentu. Nilai gaya yang didapatkan sebanding dengan tekanan fluida, sehingga semakin kecil tekanan akan semakin kecil nilai gayanya. Pada sudut azimuth tersebut terjadi pengurangan tekanan dan kecepatan aliran yang diterima oleh *blade* di kuadran III dan IV sudut azimuth karena terhalang oleh *blade* yang berada di kuadran I dan II. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar 4.2, 4.8 dan 4.14 kontur tekanan dan *streamline* kecepatan yang dihasilkan dari simulasi turbin. Serta penyebab lainnya adalah perbedaan tekanan dan kecepatan yang relatif kecil pada permukaan *upstream* dan *downstream* setiap *blade*.

Nilai maksimum torsi yang dihasilkan turbin *single* ataupun dengan *cascade* berbeda seudut azimuth. Nilai gaya yang didapatkan sebanding dengan tekanan fluida, sehingga semakin besar tekanan akan semakin besar nilai gayanya. Pada sudut azimuth tersebut tidak terjadi kecepatan aliran yang diterima oleh *blade* di kuadran III dan IV sudut azimuth karena terhalang oleh *blade* yang berada di kuadran I dan II. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar 4.3, 4.9 dan 4.15 kontur tekanan dan *streamline* kecepatan yang dihasilkan dari simulasi turbin. Serta lainnya adalah perbedaan selisih tekanan dan kecepatan yang sangat besar pada permukaan *upstream* dan *downstream* setiap *blade*.

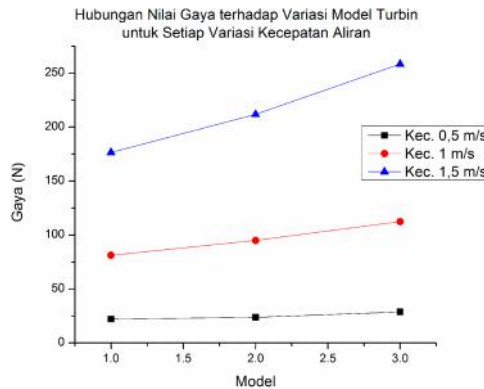
Pada profil aliran *streamline* kecepatan dapat melihat fenomena separasi aliran yang terjadi pada *blade* yang ditunjukkan pada gambar 4.24. Separasi aliran terjadi karena berkurangnya energi dari aliran fluida untuk mengikuti permukaan *blade*. Serta terjadi peningkatan gradient tekanan balik yang dialami fluida. Hal ini lah yang menyebabkan energi kinetik dari fluida berkurang. Jika gradient tekanan balik terlalu besar maka akan menimbulkan gelembung separasi aliran. Fenomena ini menyebabkan gaya hambat meningkat serta tekanan yang diterima *blade* menurun.



Gambar 4.22 Profil Separasi Aliran pada *Hydrofoil*

Peningkatan torsi dengan variasi model turbin disertai kecepatan aliran ditunjukkan pada gambar 4.24. Peningkatan nilai torsi tidak linier dengan peningkatan jumlah *hydrofoil*

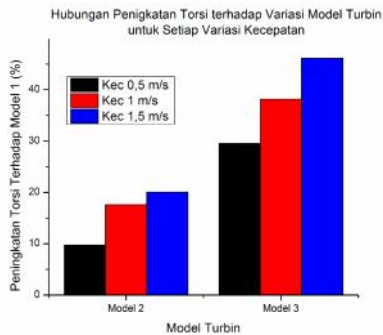
pada turbin. Ini terjadi karena setiap *blade* tidak mendapatkan energi yang sama dari fluida. Terlihat pada kontur tekanan dan *streamline* kecepatan bahwa ketika di kuadran 1 dan 2 *blade* yang dekat dengan *shaft* mendapatkan energi yang lebih sedikit dibanding dengan *blade* yang berada diluar. Hal ini terjadi karena aliran yang didapatkan merupakan ekstraksi dari *blade* yang berada diluar, sehingga energi yang didapatkan berkurang. Serta pada kuadran 3 dan 4 *blade* yang paling luar mendapatkan energi yang lebih sedikit dibandingkan dengan *blade* yang dekat dengan *shaft*.



Gambar 4.23 Peningkatan Torsi Variasi Model Turbin untuk Setiap Variasi Kecepatan Aliran

Berdasarkan hasil-hasil diatas peneliti dapat melihat peningkatan torsi yang dihasilkan antara model 2 dengan model 1 dan model 3 dengan model 1. Presentasi peningkatan nilai torsi diperlihatkan oleh gambar 4.25. Gambar 4.25 menunjukkan grafik dari peningkatan nilai torsi untuk setiap variasi model di tiap variasi kecepatan aliran arus laut. Semakin besar kecepatan aliran arus laut semakin besar pula presentase peningkatan torsi

yang didapatkan setiap model. Pada kecepatan tertinggi presentase peningkatan yang terjadi pada model 2 sebesar 20,07% dan model 3 46,14%.



Gambar 4.24 Peningkatan Torsi Variasi Model 2 dan 3 Terhadap Model 1 untuk Setiap Variasi Kecepatan Aliran

Dari hasil simulasi menunjukan bahwa turbin model 3 memiliki nilai torsi dan gaya yang lebih tinggi dibandingkan model 2 dan model 1. Hal ini dikarenakan jumlah *hydrofoil* yang digunakan lebih banyak dibandingkan dengan model lain. Jumlah *hydrofoil* yang semakin banyak membuat semakin luas daerah sapuan yang diterima turbin, sehingga mendapatkan tekanan yang lebih besar. Tekanan yang didapatkan semakin besar akan meningkatkan gaya pada turbin. Sehingga torsi pun akan semakin meningkat seiring meningkatnya gaya pada turbin.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, analisa, dan pembahasan yang telah dilakukan, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Terdapat tiga jenis model turbin yang disimulasikan, yaitu turbin 3 *hydrofoil* (model 1), turbin 6 *hydrofoil* dengan *cascade* 2 (model 2) dan turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade* 3 (model 3). Hasil Simulasi menunjukkan bahwa nilai rata-rata gaya dan torsi setiap variasi model turbin terbesar terjadi pada kecepatan aliran 1,5 m/s. Berdasarkan hasil simulasi, nilai gaya dan torsi yang dihasilkan oleh turbin model 3 lebih besar dibandingkan dengan model lainnya. Gaya yang dihasilkan turbin terjadi karena tekanan dari fluida terhadap turbin, sehingga nilai gaya sebanding dengan besarnya tekanan. Serta turbin model 3 luasan area lebih besar dibandingkan model lainnya yang menyebabkan banyak tekanan yang didapatkan.
- b. Profil aliran kontur tekanan dan *streamline* kecepatan pada turbin merupakan fenomena aliran yang tidak dapat dilihat pada uji eksperimen. Serta menjelaskan pada sudut azimuth tertentu mendapatkan nilai gaya dan torsi yang paling rendah dan paling tinggi.

5.2 Saran

Beberapa saran dan rekomendasi yang dapat diberikan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mendapatkan hasil nilai tertinggi dan nilai terendah yang lebih jelas, maka pengambilan data

berupa torsi dapat dilakukan setiap 5° atau 10° azimuth pada satu putaran penuh turbin.

- b. Perlu dilakukan analisis panjang diameter turbin agar penyebab berkurangnya kecepatan aliran pada kuadran III dan IV sudut azimuth bisa diminimalisir.
- c. Perlu dilakukan analisa penambahan jumlah *blade* lagi, untuk mengetahui berapa penambahan jumlah yang menghasilkan efisiensi maksimal
- d. perlu dilakukan analisa jarak antar *blade*, agar mendapatkan jarak yang optimal ketika digunakan metode *cascade*

DAFTAR PUSTAKA

- Akhmad S. Setiaji, I. S. (2011). STUDI NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL PERFORMANSI TURBIN VERTIKAL AKSIS ARUS SUNGAI DENGAN VARIASI SERI AIRFOIL DAN PANJANG CHORD. *Pomits*, 1-13.
- astronomyonline. (2015, December 20). *astronomyonline.org*. Retrieved from <http://astronomyonline.org/SolarSystem/EarthWeather.asp#top>
- Bhutta, M. M. (2012). Vertical Axis Wind Turbine - A Review of Various Configurations and Design Techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 16,pp*, 1926-1939.
- Cairo DP, M. U. (2006). *Horizontal Axis Tidal Current Turbine: Numerical and Experimental Investigation*. In Owemes.
- D.P. COiro, A. D. (2005). Dynamic Behaviour of the Patented Kobold Tidal Current Turbine: Numerical and Experimental Aspects. *Acta Polytechnia*, Vol. 45 No.3.
- Hannes Sturm, G. D. (2012). Boundary Layer Separation and Reattachment Detection on Airfoils by Thermal Flow Sensors. *Sensors; ISSN 1424-8220*, 14292-14306.
- M.J. Khan, G. B. (2009). Hidrokinetic energy conversion and assessment of horizontal and vertical axis turbine for river and tidal applications: A technology status review. *Applied energy* 86, 1823-1835.
- Muhammad, H. (2005). Ilmu Pengetahuan Sosial-Geografi. In D. P. Utama, *Ilmu Pengetahuan Sosial-Geografi*. Direktorat Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasion.

- Munson, B. R. (2002). *Fundamental of FLuids Mechanic 2nd Edition*. Canada: John Wiley & son.
- Permana, D. (2014, November 4). *Kompas.com*. Retrieved November 14, 2014
- Qing'an Li a, T. M. (2015). Effect of number of blades on aerodynamic forces on a straight-bladed. *Elsevier*, 784-795.
- Ridho Hantoro, I. U. (2011). An Experimental Investigation of Passive Variable-Pitch Vertical-Axis Ocean Current Turbine. *ITB J. Eng. Sci., Vol. 43, No. 1*, 27-40.
- Susilo, D. R. (2014). Simulasi Mekanisme Passive-Pitch dengan Flapping WIng pada Turbin Vertikal Aksis Arus Sungai Jenis Darrieus Straight Blade. *Jurnal Teknik Pomits*, Vol. 2, No. 1.
- Syed Shah Khalid, Z. L.-h.-W. (2012). Difference between Fixed and Variable Pitch Vertical Axis Tidal Turbine-Using CFD Analysis in CFX. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 1-7.

LAMPIRAN A

Nilai torsi dari turbin 3 *hydrofoil* pada kecepatan arus laut 0,5 m/s

No	Azimuth	Blade 1 (N.m)		Blade 2 (N.m)		Blade 3 (N.m)		Shaft (N.m)		Total (N.m)		Resultan (N.m)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Torsi
1	0	2.29	1.45	-1.51	4.36	1.21	2.43	0.22	0.77	2.22	9.01	9.27
2	15	-2.19	1.21	-2.29	3.08	0.86	4.44	0.17	0.75	-3.45	9.48	10.08
3	30	0.07	1.96	-2.40	1.45	-0.56	4.37	0.17	0.72	-2.71	8.49	8.91
4	45	0.70	2.70	-3.71	0.27	-0.82	4.19	0.17	0.73	-3.66	7.88	8.69
5	60	0.96	3.33	0.60	-0.57	-0.66	2.43	0.15	0.78	1.05	5.97	6.06
6	75	0.87	4.22	3.90	0.38	-0.14	1.89	0.03	0.71	4.66	7.19	8.57
7	90	0.60	4.66	2.57	1.60	-0.32	2.09	-0.03	0.16	2.82	8.51	8.97
8	105	-0.64	4.92	2.35	3.24	1.69	1.37	0.14	0.15	3.54	9.68	10.31
9	120	-1.51	4.36	1.21	2.43	2.29	1.45	0.22	0.77	2.22	9.01	9.27
10	135	-2.29	3.08	0.86	4.44	-2.19	1.21	0.17	0.75	-3.45	9.48	10.08
11	150	-2.40	1.45	-0.56	4.37	0.07	1.96	0.17	0.72	-2.71	8.49	8.91
12	165	-3.71	0.27	-0.82	4.19	0.70	2.70	0.17	0.73	-3.66	7.88	8.69
13	180	0.60	-0.57	-0.66	2.43	0.96	3.33	0.15	0.78	1.05	5.97	6.06
14	195	3.90	0.38	-0.14	1.89	0.87	4.22	0.03	0.71	4.66	7.19	8.57
15	210	2.57	1.60	-0.32	2.09	0.60	4.66	-0.03	0.16	2.82	8.51	8.97
16	225	2.35	3.24	1.69	1.37	-0.64	4.92	0.14	0.15	3.54	9.68	10.31
17	240	1.21	2.43	2.29	1.45	-1.51	4.36	0.22	0.77	2.22	9.01	9.27
18	255	0.86	4.44	-2.19	1.21	-2.29	3.08	0.17	0.75	-3.45	9.48	10.08
19	270	-0.56	4.37	0.07	1.96	-2.40	1.45	0.17	0.72	-2.71	8.49	8.91
20	285	-0.82	4.19	0.70	2.70	-3.71	0.27	0.17	0.73	-3.66	7.88	8.69
21	300	-0.66	2.43	0.96	3.33	0.60	-0.57	0.15	0.78	1.05	5.97	6.06
22	315	-0.14	1.89	0.87	4.22	3.90	0.38	0.03	0.71	4.66	7.19	8.57
23	330	-0.32	2.09	0.60	4.66	2.57	1.60	-0.03	0.16	2.82	8.51	8.97
24	345	1.69	1.37	-0.64	4.92	2.35	3.24	0.14	0.15	3.54	9.68	10.31
25	360	2.29	1.45	-1.51	4.36	1.21	2.43	0.22	0.77	2.22	9.01	9.27

LAMPIRAN B

Nilai gaya dari turbin 3 *hydrofoil* pada kecepatan arus laut 0,5 m/s

No	Azimuth	Blade 1 (N)		Blade 2 (N)		Blade 3 (N)		Shaft (N)		Total (N)		Resultan (N)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Gaya
1	0	3.59	-5.32	10.91	3.76	6.09	-3.03	1.93	-0.46	22.52	-5.05	23.08
2	15	3.02	5.47	7.67	5.69	11.13	-2.15	1.88	-0.27	23.70	8.74	25.26
3	30	4.91	-0.20	3.61	5.98	10.90	1.39	1.80	-0.29	21.22	6.88	22.30
4	45	6.74	-1.75	0.66	9.22	10.49	2.06	1.82	-0.31	19.71	9.22	21.76
5	60	8.35	-2.42	-1.43	-1.57	6.07	1.64	1.93	-0.29	14.92	-2.63	15.15
6	75	10.54	-2.18	0.94	-9.75	4.71	0.35	1.77	0.02	17.95	-11.56	21.35
7	90	11.63	-1.49	3.99	-6.43	5.23	0.80	0.39	0.09	21.24	-7.03	22.37
8	105	12.27	1.59	8.10	-5.89	3.42	-4.22	0.38	-0.31	24.17	-8.83	25.73
9	120	10.91	3.76	6.09	-3.03	3.59	-5.32	1.93	-0.46	22.52	-5.05	23.08
10	135	7.67	5.69	11.13	-2.15	3.02	5.47	1.88	-0.27	23.70	8.74	25.26
11	150	3.61	5.98	10.90	1.39	4.91	-0.20	1.80	-0.29	21.22	6.88	22.30
12	165	0.66	9.22	10.49	2.06	6.74	-1.75	1.82	-0.31	19.71	9.22	21.76
13	180	-1.43	-1.57	6.07	1.64	8.35	-2.42	1.93	-0.29	14.92	-2.63	15.15
14	195	0.94	-9.75	4.71	0.35	10.54	-2.18	1.77	0.02	17.95	-11.56	21.35
15	210	3.99	-6.43	5.23	0.80	11.63	-1.49	0.39	0.09	21.24	-7.03	22.37
16	225	8.10	-5.89	3.42	-4.22	12.27	1.59	0.38	-0.31	24.17	-8.83	25.73
17	240	6.09	-3.03	3.59	-5.32	10.91	3.76	1.93	-0.46	22.52	-5.05	23.08
18	255	11.13	-2.15	3.02	5.47	7.67	5.69	1.88	-0.27	23.70	8.74	25.26
19	270	10.90	1.39	4.91	-0.20	3.61	5.98	1.80	-0.29	21.22	6.88	22.30
20	285	10.49	2.06	6.74	-1.75	0.66	9.22	1.82	-0.31	19.71	9.22	21.76
21	300	6.07	1.64	8.35	-2.42	-1.43	-1.57	1.93	-0.29	14.92	-2.63	15.15
22	315	4.71	0.35	10.54	-2.18	0.94	-9.75	1.77	0.02	17.95	-11.56	21.35
23	330	5.23	0.80	11.63	-1.49	3.99	-6.43	0.39	0.09	21.24	-7.03	22.37
24	345	3.42	-4.22	12.27	1.59	8.10	-5.89	0.38	-0.31	24.17	-8.83	25.73
25	360	3.59	-5.32	10.91	3.76	6.09	-3.03	1.93	-0.46	22.52	-5.05	23.08

LAMPIRAN C

Nilai torsi dari turbin 3 *hydrofoil* pada kecepatan arus laut 1 m/s

No	Azimuth	Blade 1 (N.m)		Blade 2 (N.m)		Blade 3 (N.m)		Shaft (N.m)		Total (N.m)		Resultan (N.m)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Torsi
1	0	1.11	2.54	-2.80	17.52	1.79	10.54	0.81	2.93	0.91	33.53	33.54
2	15	4.48	2.83	-6.05	12.92	-0.04	15.78	0.56	3.04	-1.05	34.57	34.59
3	30	9.65	6.64	-5.88	6.88	-6.33	17.24	0.55	2.92	-2.01	33.68	33.74
4	45	9.99	9.85	-6.56	2.57	-7.70	15.63	0.51	2.95	-3.75	31.00	31.22
5	60	10.19	12.86	1.05	-0.19	-8.80	10.94	0.40	3.04	2.84	26.65	26.80
6	75	8.37	16.57	6.40	2.84	-3.98	6.19	0.05	3.14	10.85	28.73	30.71
7	90	6.49	18.12	5.96	7.12	-9.77	6.89	-0.15	0.90	2.53	33.03	33.13
8	105	1.06	19.30	5.95	13.21	-5.76	2.85	0.35	0.53	1.61	35.89	35.93
9	120	-2.80	17.52	1.79	10.54	1.11	2.54	0.81	2.93	0.91	33.53	33.54
10	135	-6.05	12.92	-0.04	15.78	4.48	2.83	0.56	3.04	-1.05	34.57	34.59
11	150	-5.88	6.88	-6.33	17.24	9.65	6.64	0.55	2.92	-2.01	33.68	33.74
12	165	-6.56	2.57	-7.70	15.63	9.99	9.85	0.51	2.95	-3.75	31.00	31.22
13	180	1.05	-0.19	-8.80	10.94	10.19	12.86	0.40	3.04	2.84	26.65	26.80
14	195	6.40	2.84	-3.98	6.19	8.37	16.57	0.05	3.14	10.85	28.73	30.71
15	210	5.96	7.12	-9.77	6.89	6.49	18.12	-0.15	0.90	2.53	33.03	33.13
16	225	5.95	13.21	-5.76	2.85	1.06	19.30	0.35	0.53	1.61	35.89	35.93
17	240	1.79	10.54	1.11	2.54	-2.80	17.52	0.81	2.93	0.91	33.53	33.54
18	255	-0.04	15.78	4.48	2.83	-6.05	12.92	0.56	3.04	-1.05	34.57	34.59
19	270	-6.33	17.24	9.65	6.64	-5.88	6.88	0.55	2.92	-2.01	33.68	33.74
20	285	-7.70	15.63	9.99	9.85	-6.56	2.57	0.51	2.95	-3.75	31.00	31.22
21	300	-8.80	10.94	10.19	12.86	1.05	-0.19	0.40	3.04	2.84	26.65	26.80
22	315	-3.98	6.19	8.37	16.57	6.40	2.84	0.05	3.14	10.85	28.73	30.71
23	330	-9.77	6.89	6.49	18.12	5.96	7.12	-0.15	0.90	2.53	33.03	33.13
24	345	-5.76	2.85	1.06	19.30	5.95	13.21	0.35	0.53	1.61	35.89	35.93
25	360	1.11	2.54	-2.80	17.52	1.79	10.54	0.81	2.93	0.91	33.53	33.54

LAMPIRAN D

Nilai gaya dari turbin 3 *hydrofoil* pada kecepatan arus laut 1 m/s

No	Azimuth	Blade 1 (N)		Blade 2 (N)		Blade 3 (N)		Shaft (N)		Total (N)		Resultan (N)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Gaya
1	0	6.36	-2.51	43.84	6.97	26.36	-4.50	7.36	-1.49	83.91	-1.53	83.93
2	15	7.09	-11.24	32.22	14.98	39.61	0.10	7.58	-0.71	86.49	3.13	86.55
3	30	16.63	-23.91	17.14	14.55	43.02	15.76	7.31	-0.66	84.10	5.74	84.29
4	45	24.61	-24.97	6.39	16.22	39.13	19.29	7.38	-0.65	77.52	9.89	78.14
5	60	32.11	-25.44	-0.48	-2.84	27.28	21.95	7.59	-0.50	66.50	-6.83	66.85
6	75	41.35	-20.92	7.12	-16.02	15.48	9.97	7.79	0.39	71.75	-26.57	76.51
7	90	45.29	-16.26	17.82	-14.98	17.27	24.78	2.22	0.51	82.60	-5.95	82.81
8	105	48.16	-2.69	33.04	-14.90	7.14	14.40	1.33	-0.81	89.66	-4.00	89.75
9	120	43.84	6.97	26.36	-4.50	6.36	-2.51	7.36	-1.49	83.91	-1.53	83.93
10	135	32.22	14.98	39.61	0.10	7.09	-11.24	7.58	-0.71	86.49	3.13	86.55
11	150	17.14	14.55	43.02	15.76	16.63	-23.91	7.31	-0.66	84.10	5.74	84.29
12	165	6.39	16.22	39.13	19.29	24.61	-24.97	7.38	-0.65	77.52	9.89	78.14
13	180	-0.48	-2.84	27.28	21.95	32.11	-25.44	7.59	-0.50	66.50	-6.83	66.85
14	195	7.12	-16.02	15.48	9.97	41.35	-20.92	7.79	0.39	71.75	-26.57	76.51
15	210	17.82	-14.98	17.27	24.78	45.29	-16.26	2.22	0.51	82.60	-5.95	82.81
16	225	33.04	-14.90	7.14	14.40	48.16	-2.69	1.33	-0.81	89.66	-4.00	89.75
17	240	26.36	-4.50	6.36	-2.51	43.84	6.97	7.36	-1.49	83.91	-1.53	83.93
18	255	39.61	0.10	7.09	-11.24	32.22	14.98	7.58	-0.71	86.49	3.13	86.55
19	270	43.02	15.76	16.63	-23.91	17.14	14.55	7.31	-0.66	84.10	5.74	84.29
20	285	39.13	19.29	24.61	-24.97	6.39	16.22	7.38	-0.65	77.52	9.89	78.14
21	300	27.28	21.95	32.11	-25.44	-0.48	-2.84	7.59	-0.50	66.50	-6.83	66.85
22	315	15.48	9.97	41.35	-20.92	7.12	-16.02	7.79	0.39	71.75	-26.57	76.51
23	330	17.27	24.78	45.29	-16.26	17.82	-14.98	2.22	0.51	82.60	-5.95	82.81
24	345	7.14	14.40	48.16	-2.69	33.04	-14.90	1.33	-0.81	89.66	-4.00	89.75
25	360	6.36	-2.51	43.84	6.97	26.36	-4.50	7.36	-1.49	83.91	-1.53	83.93

LAMPIRAN E

Nilai torsi dari turbin 3 *hydrofoil* pada kecepatan arus laut 1,5 m/s

No	Azimuth	Blade 1 (N.m)		Blade 2 (N.m)		Blade 3 (N.m)		Shaft (N.m)		Total (N.m)		Resultan (N.m)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Torsi
1	0	-0.99	3.10	-4.75	39.51	2.66	24.22	1.69	6.50	-1.39	73.34	73.35
2	15	21.71	4.45	-12.41	29.51	-1.79	34.25	1.08	6.89	8.59	75.10	75.59
3	30	42.94	10.27	-12.03	16.14	-16.56	38.79	0.84	6.46	15.19	71.66	73.25
4	45	27.48	19.99	-10.29	6.68	-19.67	34.21	0.98	6.65	-1.50	67.53	67.54
5	60	26.20	27.93	1.35	0.12	-23.21	24.50	0.85	6.81	5.19	59.36	59.59
6	75	21.52	36.76	9.82	7.12	-12.54	12.27	0.19	7.20	19.00	63.35	66.13
7	90	16.64	40.16	11.90	16.41	-43.14	11.01	-0.40	2.09	-15.00	69.67	71.27
8	105	4.17	43.25	12.01	29.93	-23.27	4.01	0.68	1.14	-6.41	78.33	78.59
9	120	-4.75	39.51	2.66	24.22	-0.99	3.10	1.69	6.50	-1.39	73.34	73.35
10	135	-12.41	29.51	-1.79	34.25	21.71	4.45	1.08	6.89	8.59	75.10	75.59
11	150	-12.03	16.14	-16.56	38.79	42.94	10.27	0.84	6.46	15.19	71.66	73.25
12	165	-10.29	6.68	-19.67	34.21	27.48	19.99	0.98	6.65	-1.50	67.53	67.54
13	180	1.35	0.12	-23.21	24.50	26.20	27.93	0.85	6.81	5.19	59.36	59.59
14	195	9.82	7.12	-12.54	12.27	21.52	36.76	0.19	7.20	19.00	63.35	66.13
15	210	11.90	16.41	-43.14	11.01	16.64	40.16	-0.40	2.09	-15.00	69.67	71.27
16	225	12.01	29.93	-23.27	4.01	4.17	43.25	0.68	1.14	-6.41	78.33	78.59
17	240	2.66	24.22	-0.99	3.10	-4.75	39.51	1.69	6.50	-1.39	73.34	73.35
18	255	-1.79	34.25	21.71	4.45	-12.41	29.51	1.08	6.89	8.59	75.10	75.59
19	270	-16.56	38.79	42.94	10.27	-12.03	16.14	0.84	6.46	15.19	71.66	73.25
20	285	-19.67	34.21	27.48	19.99	-10.29	6.68	0.98	6.65	-1.50	67.53	67.54
21	300	-23.21	24.50	26.20	27.93	1.35	0.12	0.85	6.81	5.19	59.36	59.59
22	315	-12.54	12.27	21.52	36.76	9.82	7.12	0.19	7.20	19.00	63.35	66.13
23	330	-43.14	11.01	16.64	40.16	11.90	16.41	-0.40	2.09	-15.00	69.67	71.27
24	345	-23.27	4.01	4.17	43.25	12.01	29.93	0.68	1.14	-6.41	78.33	78.59
25	360	2.66	24.22	-0.99	3.10	-4.75	39.51	1.69	6.50	-1.39	73.34	73.35

LAMPIRAN F

Nilai torsi dari turbin 3 *hydrofoil* pada kecepatan arus laut 1,5 m/s

No	Azimuth	Blade 1 (N)		Blade 2 (N)		Blade 3 (N)		Shaft (N)		Total (N)		Resultan (N)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Gaya
1	0	7.75	2.48	98.85	11.80	60.57	-6.69	16.36	-3.00	183.53	4.60	183.59
2	15	11.13	-54.32	73.57	30.66	86.00	4.50	17.17	-1.13	187.87	-20.29	188.96
3	30	25.70	-107.70	40.24	29.77	96.84	41.32	16.10	-0.95	178.88	-37.56	182.78
4	45	49.86	-68.78	16.58	25.43	85.60	49.26	16.65	-1.15	168.69	4.76	168.76
5	60	69.79	-65.48	0.30	-3.76	61.00	57.96	17.03	-0.89	148.12	-12.17	148.62
6	75	91.71	-53.78	17.77	-24.72	30.71	31.54	17.88	0.90	158.07	-46.06	164.64
7	90	100.40	-41.71	41.09	-29.95	27.46	107.90	5.16	1.35	174.11	37.59	178.12
8	105	107.90	-10.50	74.84	-30.06	10.01	58.12	2.84	-1.56	195.59	16.00	196.24
9	120	98.85	11.80	60.57	-6.69	7.75	2.48	16.36	-3.00	183.53	4.60	183.59
10	135	73.57	30.66	86.00	4.50	11.13	-54.32	17.17	-1.13	187.87	-20.29	188.96
11	150	40.24	29.77	96.84	41.32	25.70	-107.70	16.10	-0.95	178.88	-37.56	182.78
12	165	16.58	25.43	85.60	49.26	49.86	-68.78	16.65	-1.15	168.69	4.76	168.76
13	180	0.30	-3.76	61.00	57.96	69.79	-65.48	17.03	-0.89	148.12	-12.17	148.62
14	195	17.77	-24.72	30.71	31.54	91.71	-53.78	17.88	0.90	158.07	-46.06	164.64
15	210	41.09	-29.95	27.46	107.90	100.40	-41.71	5.16	1.35	174.11	37.59	178.12
16	225	74.84	-30.06	10.01	58.12	107.90	-10.50	2.84	-1.56	195.59	16.00	196.24
17	240	60.57	-6.69	7.75	2.48	98.85	11.80	16.36	-3.00	183.53	4.60	183.59
18	255	86.00	4.50	11.13	-54.32	73.57	30.66	17.17	-1.13	187.87	-20.29	188.96
19	270	96.84	41.32	25.70	-107.70	40.24	29.77	16.10	-0.95	178.88	-37.56	182.78
20	285	85.60	49.26	49.86	-68.78	16.58	25.43	16.65	-1.15	168.69	4.76	168.76
21	300	61.00	57.96	69.79	-65.48	0.30	-3.76	17.03	-0.89	148.12	-12.17	148.62
22	315	30.71	31.54	91.71	-53.78	17.77	-24.72	17.88	0.90	158.07	-46.06	164.64
23	330	27.46	107.90	100.40	-41.71	41.09	-29.95	5.16	1.35	174.11	37.59	178.12
24	345	10.01	58.12	107.90	-10.50	74.84	-30.06	2.84	-1.56	195.59	16.00	196.24
25	360	60.57	-6.69	7.75	2.48	98.85	11.80	16.36	-3.00	183.53	4.60	183.59

LAMPIRAN G

Nilai torsi dari turbin 6 *hydrofoil* dengan *cascade* 2 pada kecepatan arus laut 0,5 m/s

No	Azimuth	Blade 11 (N.m)		Blade 12 (N.m)		Blade 21 (N.m)		Blade 22 (N.m)		Blade 31 (N.m)		Blade 32 (N.m)		Shaft (N.m)		Total (N.m)		Resultan (N.m)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Torsi
1	0	0.12	1.37	0.49	0.92	-1.36	5.20	0.81	-0.86	0.38	1.35	1.06	1.52	0.21	0.49	1.70	9.99	10.14
2	15	-0.41	1.33	2.58	1.03	-2.54	3.89	0.56	0.01	0.62	-1.22	1.14	3.75	0.09	0.66	2.05	9.46	9.67
3	30	1.25	2.37	0.51	1.47	-2.55	1.67	-0.50	0.54	1.11	-1.08	-0.05	5.08	0.20	0.62	-0.03	10.67	10.67
4	45	1.90	3.10	0.05	1.59	-3.30	0.42	-1.83	0.08	1.20	0.01	-0.61	4.02	0.23	0.65	-2.37	9.86	10.14
5	60	1.99	3.69	-0.76	0.72	0.33	-0.37	1.02	-0.16	0.62	0.63	-1.59	3.36	0.20	0.75	1.81	8.61	8.80
6	75	1.10	3.69	-0.92	-0.72	2.65	0.26	2.64	0.32	0.63	0.97	-0.75	1.69	0.05	0.59	5.40	6.80	8.69
7	90	1.27	5.05	-0.44	-2.24	1.24	0.90	2.22	1.32	-0.01	1.74	-1.81	2.23	-0.02	0.20	2.45	9.20	9.52
8	105	-0.27	5.74	0.21	-2.17	0.94	1.72	1.83	2.25	-0.07	1.28	-2.16	1.17	0.14	0.10	0.62	10.09	10.11
9	120	-1.36	5.20	0.81	-0.86	0.38	1.35	1.06	1.52	0.12	1.37	0.49	0.92	0.21	0.49	1.70	9.99	10.14
10	135	-2.54	3.89	0.56	0.01	0.62	-1.22	1.14	3.75	-0.41	1.33	2.58	1.03	0.09	0.66	2.05	9.46	9.67
11	150	-2.55	1.67	-0.50	0.54	1.11	-1.08	-0.05	5.08	1.25	2.37	0.51	1.47	0.20	0.62	-0.03	10.67	10.67
12	165	-3.30	0.42	-1.83	0.08	1.20	0.01	-0.61	4.02	1.90	3.10	0.05	1.59	0.23	0.65	-2.37	9.86	10.14
13	180	0.33	-0.37	1.02	-0.16	0.62	0.63	-1.59	3.36	1.99	3.69	-0.76	0.72	0.20	0.75	1.81	8.61	8.80
14	195	2.65	0.26	2.64	0.32	0.63	0.97	-0.75	1.69	1.10	3.69	-0.92	-0.72	0.05	0.59	5.40	6.80	8.69
15	210	1.24	0.90	2.22	1.32	-0.01	1.74	-1.81	2.23	1.27	5.05	-0.44	-2.24	-0.02	0.20	2.45	9.20	9.52
16	225	0.94	1.72	1.83	2.25	-0.07	1.28	-2.16	1.17	-0.27	5.74	0.21	-2.17	0.14	0.10	0.62	10.09	10.11
17	240	0.38	1.35	1.06	1.52	0.12	1.37	0.49	0.92	-1.36	5.20	0.81	-0.86	0.21	0.49	1.70	9.99	10.14
18	255	0.62	-1.22	1.14	3.75	-0.41	1.33	2.58	1.03	-2.54	3.89	0.56	0.01	0.09	0.66	2.05	9.46	9.67
19	270	1.11	-1.08	-0.05	5.08	1.25	2.37	0.51	1.47	-2.55	1.67	-0.50	0.54	0.20	0.62	-0.03	10.67	10.67
20	285	1.20	0.01	-0.61	4.02	1.90	3.10	0.05	1.59	-3.30	0.42	-1.83	0.08	0.23	0.65	-2.37	9.86	10.14
21	300	0.62	0.63	-1.59	3.36	1.99	3.69	-0.76	0.72	0.33	-0.37	1.02	-0.16	0.20	0.75	1.81	8.61	8.80
22	315	0.63	0.97	-0.75	1.69	1.10	3.69	-0.92	-0.72	2.65	0.26	2.64	0.32	0.05	0.59	5.40	6.80	8.69
23	330	-0.01	1.74	-1.81	2.23	1.27	5.05	-0.44	-2.24	1.24	0.90	2.22	1.32	-0.02	0.20	2.45	9.20	9.52
24	345	-0.07	1.28	-2.16	1.17	-0.27	5.74	0.21	-2.17	0.94	1.72	1.83	2.25	0.14	0.10	0.62	10.09	10.11
25	360	0.12	1.37	0.49	0.92	-1.36	5.20	0.81	-0.86	0.38	1.35	1.06	1.52	0.21	0.49	1.70	9.99	10.14

LAMPIRAN H

Nilai gaya dari turbin 6 *hydrofoil* dengan *cascade* 2 pada kecepatan arus laut 0,5 m/s

No	Azimuth	Blade 11 (N)		Blade 12 (N)		Blade 21 (N)		Blade 22 (N)		Blade 31 (N)		Blade 32 (N)		Shaft (N)		Total (N)		Resultan (N)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Gaya
1	0	3.43	-0.27	2.31	-1.22	13.00	3.40	-2.17	-2.02	3.37	-0.96	3.76	-2.63	1.23	-0.47	24.92	-4.17	25.27
2	15	3.35	1.01	2.57	-6.46	9.71	6.32	0.02	-1.42	-3.02	-1.56	9.38	-2.86	1.63	-0.18	23.64	-5.15	24.20
3	30	5.94	-3.17	3.65	-1.23	4.17	6.36	1.35	1.22	-2.70	-2.78	12.70	0.13	1.53	-0.43	26.66	0.10	26.66
4	45	7.75	-4.76	3.96	-0.09	1.03	8.22	0.19	4.56	0.03	-3.00	10.08	1.54	1.61	-0.49	24.64	5.98	25.36
5	60	9.20	-4.94	1.79	1.90	-0.93	-0.86	-0.39	-2.58	1.61	-1.51	8.37	3.95	1.86	-0.42	21.50	-4.45	21.96
6	75	7.11	-2.13	-1.39	1.78	0.50	-5.11	0.63	-5.11	1.87	-1.21	3.24	1.44	1.12	-0.05	13.08	-10.38	16.70
7	90	12.89	-3.25	-5.72	1.13	2.31	-3.18	3.39	-5.69	4.44	-0.03	5.72	4.67	0.50	0.10	23.53	-6.25	24.35
8	105	14.34	0.68	-5.41	-0.53	4.31	-2.36	5.64	-4.57	3.21	0.15	2.93	5.39	0.25	-0.34	25.26	-1.57	25.31
9	120	13.00	3.40	-2.17	-2.02	3.37	-0.96	3.76	-2.63	3.43	-0.27	2.31	-1.22	1.23	-0.47	24.92	-4.17	25.27
10	135	9.71	6.32	0.02	-1.42	-3.02	-1.56	9.38	-2.86	3.35	1.01	2.57	-6.46	1.63	-0.18	23.64	-5.15	24.20
11	150	4.17	6.36	1.35	1.22	-2.70	-2.78	12.70	0.13	5.94	-3.17	3.65	-1.23	1.53	-0.43	26.66	0.10	26.66
12	165	1.03	8.22	0.19	4.56	0.03	-3.00	10.08	1.54	7.75	-4.76	3.96	-0.09	1.61	-0.49	24.64	5.98	25.36
13	180	-0.93	-0.86	-0.39	-2.58	1.61	-1.51	8.37	3.95	9.20	-4.94	1.79	1.90	1.86	-0.42	21.50	-4.45	21.96
14	195	0.50	-5.11	0.63	-5.11	1.87	-1.21	3.24	1.44	7.11	-2.13	-1.39	1.78	1.12	-0.05	13.08	-10.38	16.70
15	210	2.31	-3.18	3.39	-5.69	4.44	-0.03	5.72	4.67	12.89	-3.25	-5.72	1.13	0.50	0.10	23.53	-6.25	24.35
16	225	4.31	-2.36	5.64	-4.57	3.21	0.15	2.93	5.39	14.34	0.68	-5.41	-0.53	0.25	-0.34	25.26	-1.57	25.31
17	240	3.37	-0.96	3.76	-2.63	3.43	-0.27	2.31	-1.22	13.00	3.40	-2.17	-2.02	1.23	-0.47	24.92	-4.17	25.27
18	255	-3.02	-1.56	9.38	-2.86	3.35	1.01	2.57	-6.46	9.71	6.32	0.02	-1.42	1.63	-0.18	23.64	-5.15	24.20
19	270	-2.70	-2.78	12.70	0.13	5.94	-3.17	3.65	-1.23	4.17	6.36	1.35	1.22	1.53	-0.43	26.66	0.10	26.66
20	285	0.03	-3.00	10.08	1.54	7.75	-4.76	3.96	-0.09	1.03	8.22	0.19	4.56	1.61	-0.49	24.64	5.98	25.36
21	300	1.61	-1.51	8.37	3.95	9.20	-4.94	1.79	1.90	-0.93	-0.86	-0.39	-2.58	1.86	-0.42	21.50	-4.45	21.96
22	315	1.87	-1.21	3.24	1.44	7.11	-2.13	-1.39	1.78	0.50	-5.11	0.63	-5.11	1.12	-0.05	13.08	-10.38	16.70
23	330	4.44	-0.03	5.72	4.67	12.89	-3.25	-5.72	1.13	2.31	-3.18	3.39	-5.69	0.50	0.10	23.53	-6.25	24.35
24	345	3.21	0.15	2.93	5.39	14.34	0.68	-5.41	-0.53	4.31	-2.36	5.64	-4.57	0.25	-0.34	25.26	-1.57	25.31
25	360	3.43	-0.27	2.31	-1.22	13.00	3.40	-2.17	-2.02	3.37	-0.96	3.76	-2.63	1.23	-0.47	24.92	-4.17	25.27

LAMPIRAN I

Nilai torsi dari turbin 6 *hydrofoil* dengan *cascade* 2 pada kecepatan arus laut 1 m/s

No	Azimuth	Blade 11 (N.m)		Blade 12 (N.m)		Blade 21 (N.m)		Blade 22 (N.m)		Blade 31 (N.m)		Blade 32 (N.m)		Shaft (N.m)		Total (N.m)		Resultan (N.m)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Torsi
1	0	-0.48	2.00	-1.11	1.49	-2.99	20.65	4.31	-3.00	-0.43	6.18	2.10	5.76	0.62	1.94	2.02	35.02	35.07
2	15	6.21	2.56	13.68	2.70	-7.56	15.88	3.62	0.46	0.76	-3.11	2.35	11.73	0.00	2.74	19.05	32.96	38.07
3	30	14.03	4.50	20.58	5.82	-7.74	7.97	-1.09	3.24	2.53	-4.85	2.53	19.92	0.08	2.45	30.91	39.04	49.80
4	45	12.67	9.11	7.76	7.46	-8.17	2.64	-5.77	0.93	3.01	-1.48	-4.71	16.67	0.44	2.42	5.24	37.75	38.11
5	60	11.06	12.12	1.56	5.17	0.53	-0.11	2.07	0.05	1.93	0.05	-9.88	15.66	0.52	2.67	7.80	35.62	36.46
6	75	9.84	18.45	-2.59	-3.50	2.99	1.90	9.74	2.28	-0.54	2.98	-4.69	5.96	0.23	2.86	14.98	30.93	34.37
7	90	8.12	20.15	-0.26	-8.78	1.47	4.02	7.78	6.73	-18.31	4.60	-15.69	5.12	-0.52	0.93	-17.41	32.77	37.11
8	105	1.05	20.82	1.27	-6.69	1.19	6.69	5.04	8.75	-6.35	2.04	-14.00	2.61	0.34	0.27	-11.46	34.49	36.35
9	120	-2.99	20.65	4.31	-3.00	-0.43	6.18	2.10	5.76	-0.48	2.00	-1.11	1.49	0.62	1.94	2.02	35.02	35.07
10	135	-7.56	15.88	3.62	0.46	0.76	-3.11	2.35	11.73	6.21	2.56	13.68	2.70	0.00	2.74	19.05	32.96	38.07
11	150	-7.74	7.97	-1.09	3.24	2.53	-4.85	2.53	19.92	14.03	4.50	20.58	5.82	0.08	2.45	30.91	39.04	49.80
12	165	-8.17	2.64	-5.77	0.93	3.01	-1.48	-4.71	16.67	12.67	9.11	7.76	7.46	0.44	2.42	5.24	37.75	38.11
13	180	0.53	-0.11	2.07	0.05	1.93	0.05	-9.88	15.66	11.06	12.12	1.56	5.17	0.52	2.67	7.80	35.62	36.46
14	195	2.99	1.90	9.74	2.28	-0.54	2.98	-4.69	5.96	9.84	18.45	-2.59	-3.50	0.23	2.86	14.98	30.93	34.37
15	210	1.47	4.02	7.78	6.73	-18.31	4.60	-15.69	5.12	8.12	20.15	-0.26	-8.78	-0.52	0.93	-17.41	32.77	37.11
16	225	1.19	6.69	5.04	8.75	-6.35	2.04	-14.00	2.61	1.05	20.82	1.27	-6.69	0.34	0.27	-11.46	34.49	36.35
17	240	-0.43	6.18	2.10	5.76	-0.48	2.00	-1.11	1.49	-2.99	20.65	4.31	-3.00	0.62	1.94	2.02	35.02	35.07
18	255	0.76	-3.11	2.35	11.73	6.21	2.56	13.68	2.70	-7.56	15.88	3.62	0.46	0.00	2.74	19.05	32.96	38.07
19	270	2.53	-4.85	2.53	19.92	14.03	4.50	20.58	5.82	-7.74	7.97	-1.09	3.24	0.08	2.45	30.91	39.04	49.80
20	285	3.01	-1.48	-4.71	16.67	12.67	9.11	7.76	7.46	-8.17	2.64	-5.77	0.93	0.44	2.42	5.24	37.75	38.11
21	300	1.93	0.05	-9.88	15.66	11.06	12.12	1.56	5.17	0.53	-0.11	2.07	0.05	0.52	2.67	7.80	35.62	36.46
22	315	-0.54	2.98	-4.69	5.96	9.84	18.45	-2.59	-3.50	2.99	1.90	9.74	2.28	0.23	2.86	14.98	30.93	34.37
23	330	-18.31	4.60	-15.69	5.12	8.12	20.15	-0.26	-8.78	1.47	4.02	7.78	6.73	-0.52	0.93	-17.41	32.77	37.11
24	345	-6.35	2.04	-14.00	2.61	1.05	20.82	1.27	-6.69	1.19	6.69	5.04	8.75	0.34	0.27	-11.46	34.49	36.35
25	360	-0.48	2.00	-1.11	1.49	-2.99	20.65	4.31	-3.00	-0.43	6.18	2.10	5.76	0.62	1.94	2.02	35.02	35.07

LAMPIRAN J

Nilai gaya dari turbin 6 *hydrofoil* dengan *cascade* 2 pada kecepatan arus laut 1 m/s

No	Azimuth	Blade 11 (N)		Blade 12 (N)		Blade 21 (N)		Blade 22 (N)		Blade 31 (N)		Blade 32 (N)		Shaft (N)		Total (N)		Resultan (N)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Gaya
1	0	4.99	1.20	3.73	2.78	51.60	7.46	-7.58	-10.82	15.43	1.08	14.25	-5.22	4.85	-1.29	87.27	-4.80	87.40
2	15	6.41	-15.51	6.74	-34.20	39.69	18.80	1.13	-9.13	-7.79	-1.91	29.39	-5.89	6.82	0.24	82.40	-47.60	95.16
3	30	11.27	-35.15	14.52	-51.34	19.91	19.28	8.06	2.59	-12.19	-6.36	49.94	5.51	6.11	0.00	97.63	-65.46	117.54
4	45	22.86	-31.66	18.63	-19.30	6.57	20.27	2.32	14.34	-3.80	-7.55	41.71	11.75	6.03	-0.84	94.31	-12.99	95.21
5	60	30.31	-27.62	12.77	-3.83	-0.27	-1.45	0.13	-5.27	0.19	-4.87	39.11	24.75	6.64	-1.08	88.90	-19.38	90.99
6	75	46.02	-24.56	-8.82	6.50	4.75	-7.46	5.72	-24.41	7.44	1.39	14.76	11.58	7.09	-0.17	76.96	-37.14	85.45
7	90	50.42	-20.40	-21.83	0.65	10.06	-3.65	16.81	-19.48	11.52	45.96	12.77	39.21	2.28	1.48	82.04	43.78	92.99
8	105	53.95	-2.77	-17.33	-3.28	17.43	-3.10	22.70	-13.06	5.28	16.46	6.77	36.23	0.70	-0.80	89.51	29.69	94.31
9	120	51.60	7.46	-7.58	-10.82	15.43	1.08	14.25	-5.22	4.99	1.20	3.73	2.78	4.85	-1.29	87.27	-4.80	87.40
10	135	39.69	18.80	1.13	-9.13	-7.79	-1.91	29.39	-5.89	6.41	-15.51	6.74	-34.20	6.82	0.24	82.40	-47.60	95.16
11	150	19.91	19.28	8.06	2.59	-12.19	-6.36	49.94	5.51	11.27	-35.15	14.52	-51.34	6.11	0.00	97.63	-65.46	117.54
12	165	6.57	20.27	2.32	14.34	-3.80	-7.55	41.71	11.75	22.86	-31.66	18.63	-19.30	6.03	-0.84	94.31	-12.99	95.21
13	180	-0.27	-1.45	0.13	-5.27	0.19	-4.87	39.11	24.75	30.31	-27.62	12.77	-3.83	6.64	-1.08	88.90	-19.38	90.99
14	195	4.75	-7.46	5.72	-24.41	7.44	1.39	14.76	11.58	46.02	-24.56	-8.82	6.50	7.09	-0.17	76.96	-37.14	85.45
15	210	10.06	-3.65	16.81	-19.48	11.52	45.96	12.77	39.21	50.42	-20.40	-21.83	0.65	2.28	1.48	82.04	43.78	92.99
16	225	17.43	-3.10	22.70	-13.06	5.28	16.46	6.77	36.23	53.95	-2.77	-17.33	-3.28	0.70	-0.80	89.51	29.69	94.31
17	240	15.43	1.08	14.25	-5.22	4.99	1.20	3.73	2.78	51.60	7.46	-7.58	-10.82	4.85	-1.29	87.27	-4.80	87.40
18	255	-7.79	-1.91	29.39	-5.89	6.41	-15.51	6.74	-34.20	39.69	18.80	1.13	-9.13	6.82	0.24	82.40	-47.60	95.16
19	270	-12.19	-6.36	49.94	5.51	11.27	-35.15	14.52	-51.34	19.91	19.28	8.06	2.59	6.11	0.00	97.63	-65.46	117.54
20	285	-3.80	-7.55	41.71	11.75	22.86	-31.66	18.63	-19.30	6.57	20.27	2.32	14.34	6.03	-0.84	94.31	-12.99	95.21
21	300	0.19	-4.87	39.11	24.75	30.31	-27.62	12.77	-3.83	-0.27	-1.45	0.13	-5.27	6.64	-1.08	88.90	-19.38	90.99
22	315	7.44	1.39	14.76	11.58	46.02	-24.56	-8.82	6.50	4.75	-7.46	5.72	-24.41	7.09	-0.17	76.96	-37.14	85.45
23	330	11.52	45.96	12.77	39.21	50.42	-20.40	-21.83	0.65	10.06	-3.65	16.81	-19.48	2.28	1.48	82.04	43.78	92.99
24	345	5.28	16.46	6.77	36.23	53.95	-2.77	-17.33	-3.28	17.43	-3.10	22.70	-13.06	0.70	-0.80	89.51	29.69	94.31
25	360	4.99	1.20	3.73	2.78	51.60	7.46	-7.58	-10.82	15.43	1.08	14.25	-5.22	4.85	-1.29	87.27	-4.80	87.40

LAMPIRAN K

Nilai torsi dari turbin 6 *hydrofoil* dengan *cascade* 2 pada kecepatan arus laut 1,5 m/s

No	Azimuth	Blade 11 (N.m)		Blade 12 (N.m)		Blade 21 (N.m)		Blade 22 (N.m)		Blade 31 (N.m)		Blade 32 (N.m)		Shaft (N.m)		Total (N.m)		Resultan (N.m)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Torsi
1	0	-1.26	2.76	-4.79	2.11	-5.31	46.46	11.05	-7.91	-3.09	12.95	4.26	15.04	1.05	3.96	1.92	75.36	75.39
2	15	15.37	4.13	32.04	5.27	-15.49	35.57	9.70	0.48	0.88	-5.71	4.07	24.56	-0.36	5.97	46.21	70.26	84.10
3	30	36.26	8.22	51.32	12.93	-16.27	18.26	-1.60	7.30	4.60	-11.83	-5.95	44.54	-0.28	5.36	68.08	84.79	108.74
4	45	33.50	16.74	23.47	18.17	-15.17	6.50	-11.28	2.27	5.33	-4.63	-11.54	36.43	0.62	5.37	24.93	80.86	84.61
5	60	29.68	24.58	9.14	14.43	0.36	0.16	2.97	0.33	-0.36	-1.37	-25.93	36.51	0.26	5.44	16.12	80.07	81.68
6	75	23.44	39.96	-4.39	-6.83	3.76	4.62	18.72	5.08	-2.91	5.76	-11.14	12.54	0.35	6.73	27.83	67.86	73.34
7	90	20.12	44.48	-0.33	-19.53	1.18	8.59	18.52	16.02	-47.12	9.78	-40.22	9.98	-1.43	2.19	-49.29	71.51	86.85
8	105	4.15	46.87	3.03	-13.77	0.12	13.93	10.72	20.56	-16.71	3.29	-36.71	5.31	0.95	0.49	-34.46	76.67	84.06
9	120	-5.31	46.46	11.05	-7.91	-3.09	12.95	4.26	15.04	-1.26	2.76	-4.79	2.11	1.05	3.96	1.92	75.36	75.39
10	135	-15.49	35.57	9.70	0.48	0.88	-5.71	4.07	24.56	15.37	4.13	32.04	5.27	-0.36	5.97	46.21	70.26	84.10
11	150	-16.27	18.26	-1.60	7.30	4.60	-11.83	-5.95	44.54	36.26	8.22	51.32	12.93	-0.28	5.36	68.08	84.79	108.74
12	165	-15.17	6.50	-11.28	2.27	5.33	-4.63	-11.54	36.43	33.50	16.74	23.47	18.17	0.62	5.37	24.93	80.86	84.61
13	180	0.36	0.16	2.97	0.33	-0.36	-1.37	-25.93	36.51	29.68	24.58	9.14	14.43	0.26	5.44	16.12	80.07	81.68
14	195	3.76	4.62	18.72	5.08	-2.91	5.76	-11.14	12.54	23.44	39.96	-4.39	-6.83	0.35	6.73	27.83	67.86	73.34
15	210	1.18	8.59	18.52	16.02	-47.12	9.78	-40.22	9.98	20.12	44.48	-0.33	-19.53	-1.43	2.19	-49.29	71.51	86.85
16	225	0.12	13.93	10.72	20.56	-16.71	3.29	-36.71	5.31	4.15	46.87	3.03	-13.77	0.95	0.49	-34.46	76.67	84.06
17	240	-3.09	12.95	4.26	15.04	-1.26	2.76	-4.79	2.11	-5.31	46.46	11.05	-7.91	1.05	3.96	1.92	75.36	75.39
18	255	0.88	-5.71	4.07	24.56	15.37	4.13	32.04	5.27	-15.49	35.57	9.70	0.48	-0.36	5.97	46.21	70.26	84.10
19	270	4.60	-11.83	-5.95	44.54	36.26	8.22	51.32	12.93	-16.27	18.26	-1.60	7.30	-0.28	5.36	68.08	84.79	108.74
20	285	5.33	-4.63	-11.54	36.43	33.50	16.74	23.47	18.17	-15.17	6.50	-11.28	2.27	0.62	5.37	24.93	80.86	84.61
21	300	-0.36	-1.37	-25.93	36.51	29.68	24.58	9.14	14.43	0.36	0.16	2.97	0.33	0.26	5.44	16.12	80.07	81.68
22	315	-2.91	5.76	-11.14	12.54	23.44	39.96	-4.39	-6.83	3.76	4.62	18.72	5.08	0.35	6.73	27.83	67.86	73.34
23	330	-47.12	9.78	-40.22	9.98	20.12	44.48	-0.33	-19.53	1.18	8.59	18.52	16.02	-1.43	2.19	-49.29	71.51	86.85
24	345	-16.71	3.29	-36.71	5.31	4.15	46.87	3.03	-13.77	0.12	13.93	10.72	20.56	0.95	0.49	-34.46	76.67	84.06
25	360	-1.26	2.76	-4.79	2.11	-5.31	46.46	11.05	-7.91	-3.09	12.95	4.26	15.04	1.05	3.96	1.92	75.36	75.39

LAMPIRAN L

Nilai gaya dari turbin 6 *hydrofoil* dengan *cascade* 2 pada kecepatan arus laut 1,5 m/s

No	Azimuth	Blade 11 (N)		Blade 12 (N)		Blade 21 (N)		Blade 22 (N)		Blade 31 (N)		Blade 32 (N)		Shaft (N)		Total (N)		Resultan (N)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Gaya
1	0	6.87	3.14	5.26	12.01	115.99	13.23	-19.84	-27.62	32.41	7.71	37.35	-10.55	9.88	-2.22	187.92	-4.29	187.97
2	15	10.32	-38.33	13.17	-80.00	88.78	38.47	1.19	-24.37	-14.19	-2.22	61.47	-10.20	14.83	1.37	175.57	-115.27	210.03
3	30	20.58	-90.69	32.25	-128.06	45.60	40.49	18.14	3.64	-29.76	-11.52	111.51	14.83	13.33	1.14	211.65	-170.17	271.58
4	45	41.93	-83.38	45.36	-58.19	16.15	37.45	5.65	27.97	-11.88	-13.37	91.27	28.85	13.36	-0.96	201.84	-61.63	211.04
5	60	61.39	-74.23	35.85	-22.76	0.40	-1.04	0.82	-7.58	-3.36	0.95	90.99	64.85	13.53	-0.29	199.63	-40.10	203.61
6	75	99.94	-58.74	-17.36	11.05	11.49	-9.41	12.68	-46.76	14.37	7.37	30.93	27.43	16.61	0.24	168.66	-68.81	182.16
7	90	111.13	-50.45	-48.47	0.81	21.46	-2.89	40.01	-46.29	24.44	117.94	24.88	100.42	5.37	3.97	178.83	123.51	217.33
8	105	116.87	-10.43	-34.25	-7.52	35.06	-0.44	51.34	-26.72	8.21	41.78	13.24	91.46	1.22	-2.15	191.69	85.98	210.09
9	120	115.99	13.23	-19.84	-27.62	32.41	7.71	37.35	-10.55	6.87	3.14	5.26	12.01	9.88	-2.22	187.92	-4.29	187.97
10	135	88.78	38.47	1.19	-24.37	-14.19	-2.22	61.47	-10.20	10.32	-38.33	13.17	-80.00	14.83	1.37	175.57	-115.27	210.03
11	150	45.60	40.49	18.14	3.64	-29.76	-11.52	111.51	14.83	20.58	-90.69	32.25	-128.06	13.33	1.14	211.65	-170.17	271.58
12	165	16.15	37.45	5.65	27.97	-11.88	-13.37	91.27	28.85	41.93	-83.38	45.36	-58.19	13.36	-0.96	201.84	-61.63	211.04
13	180	0.40	-1.04	0.82	-7.58	-3.36	0.95	90.99	64.85	61.39	-74.23	35.85	-22.76	13.53	-0.29	199.63	-40.10	203.61
14	195	11.49	-9.41	12.68	-46.76	14.37	7.37	30.93	27.43	99.94	-58.74	-17.36	11.05	16.61	0.24	168.66	-68.81	182.16
15	210	21.46	-2.89	40.01	-46.29	24.44	117.94	24.88	100.42	111.13	-50.45	-48.47	0.81	5.37	3.97	178.83	123.51	217.33
16	225	35.06	-0.44	51.34	-26.72	8.21	41.78	13.24	91.46	116.87	-10.43	-34.25	-7.52	1.22	-2.15	191.69	85.98	210.09
17	240	32.41	7.71	37.35	-10.55	6.87	3.14	5.26	12.01	115.99	13.23	-19.84	-27.62	9.88	-2.22	187.92	-4.29	187.97
18	255	-14.19	-2.22	61.47	-10.20	10.32	-38.33	13.17	-80.00	88.78	38.47	1.19	-24.37	14.83	1.37	175.57	-115.27	210.03
19	270	-29.76	-11.52	111.51	14.83	20.58	-90.69	32.25	-128.06	45.60	40.49	18.14	3.64	13.33	1.14	211.65	-170.17	271.58
20	285	-11.88	-13.37	91.27	28.85	41.93	-83.38	45.36	-58.19	16.15	37.45	5.65	27.97	13.36	-0.96	201.84	-61.63	211.04
21	300	-3.36	0.95	90.99	64.85	61.39	-74.23	35.85	-22.76	0.40	-1.04	0.82	-7.58	13.53	-0.29	199.63	-40.10	203.61
22	315	14.37	7.37	30.93	27.43	99.94	-58.74	-17.36	11.05	11.49	-9.41	12.68	-46.76	16.61	0.24	168.66	-68.81	182.16
23	330	24.44	117.94	24.88	100.42	111.13	-50.45	-48.47	0.81	21.46	-2.89	40.01	-46.29	5.37	3.97	178.83	123.51	217.33
24	345	8.21	41.78	13.24	91.46	116.87	-10.43	-34.25	-7.52	35.06	-0.44	51.34	-26.72	1.22	-2.15	191.69	85.98	210.09
25	360	6.87	3.14	5.26	12.01	115.99	13.23	-19.84	-27.62	32.41	7.71	37.35	-10.55	9.88	-2.22	187.92	-4.29	187.97

LAMPIRAN M

Nilai torsi dari turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade* 3 pada kecepatan arus laut 0,5 m/s

No	Azimuth	Blade 11 (N.m)		Blade 12 (N.m)		Blade 13 (N.m)		Blade 21 (N.m)		Blade 22 (N.m)		Blade 23 (N.m)		Blade 31 (N.m)		Blade 32 (N.m)		Blade 33 (N.m)		Shaft (N.m)		Total (N.m)		Resultan (N.m)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Torsi
1	0	-0.19	0.98	0.04	0.69	-0.24	0.42	-1.10	5.24	0.58	-0.16	0.46	0.57	0.23	1.58	0.34	0.52	0.52	1.07	0.09	0.07	0.71	10.98	11.01
2	15	0.36	1.02	2.43	0.93	3.12	0.75	-2.17	3.82	0.02	0.74	0.37	0.57	0.15	0.81	0.14	-0.24	0.45	2.07	0.16	0.57	5.04	11.06	12.15
3	30	1.07	1.99	1.92	1.41	5.17	1.42	-2.12	1.71	-1.14	0.82	-0.09	0.67	0.48	-0.19	0.35	-1.26	-0.50	4.97	0.16	0.55	5.30	12.08	13.19
4	45	2.07	2.86	0.97	2.06	1.18	1.47	-2.84	0.53	-1.49	0.19	-1.26	0.21	0.78	0.55	0.34	0.82	-0.51	2.29	0.27	0.47	-0.48	11.46	11.47
5	60	2.00	3.41	-0.40	1.12	0.22	1.33	0.52	-0.20	0.78	-0.09	1.26	-0.02	0.10	1.00	0.32	0.11	-1.77	3.12	0.20	0.57	3.23	10.35	10.84
6	75	1.32	3.66	-0.57	0.01	-0.37	0.22	2.22	0.38	2.28	0.33	1.98	0.44	0.46	0.83	-0.20	0.90	-0.88	1.08	0.05	0.70	6.29	8.55	10.61
7	90	1.52	5.05	-0.28	-2.09	-0.17	-0.13	0.97	1.04	1.03	0.83	1.95	1.56	-1.14	1.52	-2.20	1.76	-1.08	0.93	-0.04	0.16	0.57	10.64	10.66
8	105	0.00	5.48	0.18	-1.68	0.26	0.17	0.71	1.81	0.61	1.26	1.00	1.74	-0.92	0.96	-2.46	0.91	-2.95	0.71	0.03	-0.04	-3.54	11.31	11.85
9	120	-1.10	5.24	0.58	-0.16	0.46	0.57	0.23	1.58	0.34	0.52	0.52	1.07	-0.19	0.98	0.04	0.69	-0.24	0.42	0.09	0.07	0.71	10.98	11.01
10	135	-2.17	3.82	0.02	0.74	0.37	0.57	0.15	0.81	0.14	-0.24	0.45	2.07	0.36	1.02	2.43	0.93	3.12	0.75	0.16	0.57	5.04	11.06	12.15
11	150	-2.12	1.71	-1.14	0.82	-0.09	0.67	0.48	-0.19	0.35	-1.26	-0.50	4.97	1.07	1.99	1.92	1.41	5.17	1.42	0.16	0.55	5.30	12.08	13.19
12	165	-2.84	0.53	-1.49	0.19	-1.26	0.21	0.78	0.55	0.34	0.82	-0.51	2.29	2.07	2.86	0.97	2.06	1.18	1.47	0.27	0.47	-0.48	11.46	11.47
13	180	0.52	-0.20	0.78	-0.09	1.26	-0.02	0.10	1.00	0.32	0.11	-1.77	3.12	2.00	3.41	-0.40	1.12	0.22	1.33	0.20	0.57	3.23	10.35	10.84
14	195	2.22	0.38	2.28	0.33	1.98	0.44	0.46	0.83	-0.20	0.90	-0.88	1.08	1.32	3.66	-0.57	0.01	-0.37	0.22	0.05	0.70	6.29	8.55	10.61
15	210	0.97	1.04	1.03	0.83	1.95	1.56	-1.14	1.52	-2.20	1.76	-1.08	0.93	1.52	5.05	-0.28	-2.09	-0.17	-0.13	-0.04	0.16	0.57	10.64	10.66
16	225	0.71	1.81	0.61	1.26	1.00	1.74	-0.92	0.96	-2.46	0.91	-2.95	0.71	0.00	5.48	0.18	-1.68	0.26	0.17	0.03	-0.04	-3.54	11.31	11.85
17	240	0.23	1.58	0.34	0.52	0.52	1.07	-0.19	0.98	0.04	0.69	-0.24	0.42	-1.10	5.24	0.58	-0.16	0.46	0.57	0.09	0.07	0.71	10.98	11.01
18	255	0.15	0.81	0.14	-0.24	0.45	2.07	0.36	1.02	2.43	0.93	3.12	0.75	-2.17	3.82	0.02	0.74	0.37	0.57	0.16	0.57	5.04	11.06	12.15
19	270	0.48	-0.19	0.35	-1.26	-0.50	4.97	1.07	1.99	1.92	1.41	5.17	1.42	-2.12	1.71	-1.14	0.82	-0.09	0.67	0.16	0.55	5.30	12.08	13.19
20	285	0.78	0.55	0.34	0.82	-0.51	2.29	2.07	2.86	0.97	2.06	1.18	1.47	-2.84	0.53	-1.49	0.19	-1.26	0.21	0.27	0.47	-0.48	11.46	11.47
21	300	0.10	1.00	0.32	0.11	-1.77	3.12	2.00	3.41	-0.40	1.12	0.22	1.33	0.52	-0.20	0.78	-0.09	1.26	-0.02	0.20	0.57	3.23	10.35	10.84
22	315	0.46	0.83	-0.20	0.90	-0.88	1.08	1.32	3.66	-0.57	0.01	-0.37	0.22	2.22	0.38	2.28	0.33	1.98	0.44	0.05	0.70	6.29	8.55	10.61
23	330	-1.14	1.52	-2.20	1.76	-1.08	0.93	1.52	5.05	-0.28	-2.09	-0.17	-0.13	0.97	1.04	1.03	0.83	1.95	1.56	-0.04	0.16	0.57	10.64	10.66
24	345	-0.92	0.96	-2.46	0.91	-2.95	0.71	0.00	5.48	0.18	-1.68	0.26	0.17	0.71	1.81	0.61	1.26	1.00	1.74	0.03	-0.04	-3.54	11.31	11.85
25	360	-0.19	0.98	0.04	0.69	-0.24	0.42	-1.10	5.24	0.58	-0.16	0.46	0.57	0.23	1.58	0.34	0.52	0.52	1.07	0.09	0.07	0.71	10.98	11.01

LAMPIRAN N

Nilai gaya dari turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade* 3 pada kecepatan arus laut 0,5 m/s

No	Azimuth	Blade 11 (N)		Blade 12 (N)		Blade 13 (N)		Blade 21 (N)		Blade 22 (N)		Blade 23 (N)		Blade 31 (N)		Blade 32 (N)		Blade 33 (N)		Shaft (N)		Total (N)		Resultan (N)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Torsi
1	0	2.45	0.50	1.74	-0.12	1.05	0.62	13.13	2.75	-0.39	-1.45	1.44	-1.15	3.95	-0.56	1.31	-0.85	2.68	-1.29	0.18	-0.22	27.54	-1.77	27.59
2	15	2.56	-0.88	2.34	-6.08	1.88	-7.84	9.56	5.42	1.85	-0.07	1.44	-0.94	2.05	-0.38	-0.61	-0.35	5.21	-1.14	1.42	-0.33	27.71	-12.60	30.44
3	30	4.99	-2.68	3.56	-4.83	3.55	-12.86	4.29	5.30	2.05	2.83	1.66	0.17	-0.55	-1.23	-3.11	-0.86	12.41	1.25	1.36	-0.30	30.20	-13.21	32.97
4	45	7.19	-5.17	5.14	-2.42	3.68	-3.00	1.32	7.08	0.47	3.71	0.52	3.10	1.42	-1.93	2.06	-0.86	5.75	1.25	1.17	-0.58	28.73	1.18	28.76
5	60	8.53	-5.00	2.81	0.98	3.37	-0.58	-0.50	-1.31	-0.22	-1.97	-0.04	-3.19	2.56	-0.17	0.21	-0.84	7.85	4.45	1.42	-0.40	25.98	-8.02	27.19
6	75	9.19	-3.33	0.02	1.43	0.55	0.93	0.95	-5.58	0.82	-5.72	1.12	-4.98	2.05	-1.23	2.23	0.47	2.69	2.19	1.74	-0.02	21.34	-15.84	26.58
7	90	12.63	-3.80	-5.24	0.71	-0.29	0.42	2.60	-2.45	2.09	-2.57	3.92	-4.86	3.82	2.77	4.42	5.54	2.33	2.65	0.39	0.14	26.66	-1.44	26.70
8	105	13.72	0.00	-4.21	-0.44	0.42	-0.64	4.54	-1.80	3.15	-1.53	4.36	-2.49	2.39	2.34	2.28	6.12	1.78	7.38	-0.10	-0.08	28.36	8.86	29.71
9	120	13.13	2.75	-0.39	-1.45	1.44	-1.15	3.95	-0.56	1.31	-0.85	2.68	-1.29	2.45	0.50	1.74	-0.12	1.05	0.62	0.18	-0.22	27.54	-1.77	27.59
10	135	9.56	5.42	1.85	-0.07	1.44	-0.94	2.05	-0.38	-0.61	-0.35	5.21	-1.14	2.56	-0.88	2.34	-6.08	1.88	-7.84	1.42	-0.33	27.71	-12.60	30.44
11	150	4.29	5.30	2.05	2.83	1.66	0.17	-0.55	-1.23	-3.11	-0.86	12.41	1.25	4.99	-2.68	3.56	-4.83	3.55	-12.86	1.36	-0.30	30.20	-13.21	32.97
12	165	1.32	7.08	0.47	3.71	0.52	3.10	1.42	-1.93	2.06	-0.86	5.75	1.25	7.19	-5.17	5.14	-2.42	3.68	-3.00	1.17	-0.58	28.73	1.18	28.76
13	180	-0.50	-1.31	-0.22	-1.97	-0.04	-3.19	2.56	-0.17	0.21	-0.84	7.85	4.45	8.53	-5.00	2.81	0.98	3.37	-0.58	1.42	-0.40	25.98	-8.02	27.19
14	195	0.95	-5.58	0.82	-5.72	1.12	-4.98	2.05	-1.23	2.23	0.47	2.69	2.19	9.19	-3.33	0.02	1.43	0.55	0.93	1.74	-0.02	21.34	-15.84	26.58
15	210	2.60	-2.45	2.09	-2.57	3.92	-4.86	3.82	2.77	4.42	5.54	2.33	2.65	12.63	-3.80	-5.24	0.71	-0.29	0.42	0.39	0.14	26.66	-1.44	26.70
16	225	4.54	-1.80	3.15	-1.53	4.36	-2.49	2.39	2.34	2.28	6.12	1.78	7.38	13.72	0.00	-4.21	-0.44	0.42	-0.64	-0.10	-0.08	28.36	8.86	29.71
17	240	3.95	-0.56	1.31	-0.85	2.68	-1.29	2.45	0.50	1.74	-0.12	1.05	0.62	13.13	2.75	-0.39	-1.45	1.44	-1.15	0.18	-0.22	27.54	-1.77	27.59
18	255	2.05	-0.38	-0.61	-0.35	5.21	-1.14	2.56	-0.88	2.34	-6.08	1.88	-7.84	9.56	5.42	1.85	-0.07	1.44	-0.94	1.42	-0.33	27.71	-12.60	30.44
19	270	-0.55	-1.23	-3.11	-0.86	12.41	1.25	4.99	-2.68	3.56	-4.83	3.55	-12.86	4.29	5.30	2.05	2.83	1.66	0.17	1.36	-0.30	30.20	-13.21	32.97
20	285	1.42	-1.93	2.06	-0.86	5.75	1.25	7.19	-5.17	5.14	-2.42	3.68	-3.00	1.32	7.08	0.47	3.71	0.52	3.10	1.17	-0.58	28.73	1.18	28.76
21	300	2.56	-0.17	0.21	-0.84	7.85	4.45	8.53	-5.00	2.81	0.98	3.37	-0.58	-0.50	-1.31	-0.22	-1.97	-0.04	-3.19	1.42	-0.40	25.98	-8.02	27.19
22	315	2.05	-1.23	2.23	0.47	2.69	2.19	9.19	-3.33	0.02	1.43	0.55	0.93	0.95	-5.58	0.82	-5.72	1.12	-4.98	1.74	-0.02	21.34	-15.84	26.58
23	330	3.82	2.77	4.42	5.54	2.33	2.65	12.63	-3.80	-5.24	0.71	-0.29	0.42	2.60	-2.45	2.09	-2.57	3.92	-4.86	0.39	0.14	26.66	-1.44	26.70
24	345	2.39	2.34	2.28	6.12	1.78	7.38	13.72	0.00	-4.21	-0.44	0.42	-0.64	4.54	-1.80	3.15	-1.53	4.36	-2.49	-0.10	-0.08	28.36	8.86	29.71
25	360	2.45	0.50	1.74	-0.12	1.05	0.62	13.13	2.75	-0.39	-1.45	1.44	-1.15	3.95	-0.56	1.31	-0.85	2.68	-1.29	0.18	-0.22	27.54	-1.77	27.59

LAMPIRAN O

Nilai torsi dari turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade* 3 pada kecepatan arus laut 1 m/s

No	Azimuth	Blade 11 (N.m)		Blade 12 (N.m)		Blade 13 (N.m)		Blade 21 (N.m)		Blade 22 (N.m)		Blade 23 (N.m)		Blade 31 (N.m)		Blade 32 (N.m)		Blade 33 (N.m)		Shaft (N.m)		Total (N.m)		Resultan (N.m)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Torsi
1	0	-0.73	1.65	-1.00	1.26	-2.87	0.81	-2.69	20.17	3.07	-0.66	2.34	1.93	-0.52	6.43	0.16	2.14	1.50	4.34	0.21	0.17	-0.54	38.24	38.25
2	15	4.92	2.22	10.19	1.90	11.29	2.21	-6.86	14.97	1.07	3.06	2.00	2.27	-0.61	3.03	-0.22	-0.33	1.01	7.55	0.54	2.06	23.33	38.95	45.40
3	30	12.22	3.89	16.50	4.79	21.62	6.02	-6.87	7.54	-2.39	3.49	0.42	2.82	1.10	-1.45	0.12	-3.99	-2.30	18.20	0.12	2.14	40.54	43.46	59.43
4	45	11.71	7.75	10.00	8.68	9.85	6.79	-7.80	2.59	-5.68	1.12	-4.64	0.95	0.65	1.80	1.22	-0.20	-4.44	11.87	0.63	1.79	11.50	43.14	44.65
5	60	11.51	10.79	4.18	7.76	3.32	5.04	0.58	-0.03	1.39	0.09	2.85	0.17	-2.05	2.22	0.75	0.92	-9.47	13.90	0.61	1.83	13.67	42.70	44.83
6	75	9.17	16.46	-1.90	-1.95	0.06	3.26	3.06	1.78	7.42	1.63	6.99	1.95	-0.15	2.28	-1.21	2.59	-4.56	4.07	0.27	2.74	19.15	34.80	39.72
7	90	7.57	18.62	-0.07	-8.73	-0.28	0.69	0.43	3.48	4.78	4.79	5.26	5.88	-17.97	4.46	-15.55	4.31	-3.83	1.73	-0.29	0.62	-19.94	35.84	41.01
8	105	1.52	20.17	0.81	-4.94	1.40	-0.24	0.99	6.70	1.08	4.88	3.39	7.09	-5.56	1.78	-12.12	2.29	-13.81	2.10	0.15	-0.12	-22.16	39.69	45.46
9	120	-2.69	20.17	3.07	-0.66	2.34	1.93	-0.52	6.43	0.16	2.14	1.50	4.34	-0.73	1.65	-1.00	1.26	-2.87	0.81	0.21	0.17	-0.54	38.24	38.25
10	135	-6.86	14.97	1.07	3.06	2.00	2.27	-0.61	3.03	-0.22	-0.33	1.01	7.55	4.92	2.22	10.19	1.90	11.29	2.21	0.54	2.06	23.33	38.95	45.40
11	150	-6.87	7.54	-2.39	3.49	0.42	2.82	1.10	-1.45	0.12	-3.99	-2.30	18.20	12.22	3.89	16.50	4.79	21.62	6.02	0.12	2.14	40.54	43.46	59.43
12	165	-7.80	2.59	-5.68	1.12	-4.64	0.95	0.65	1.80	1.22	-0.20	-4.44	11.87	11.71	7.75	10.00	8.68	9.85	6.79	0.63	1.79	11.50	43.14	44.65
13	180	0.58	-0.03	1.39	0.09	2.85	0.17	-2.05	2.22	0.75	0.92	-9.47	13.90	11.51	10.79	4.18	7.76	3.32	5.04	0.61	1.83	13.67	42.70	44.83
14	195	3.06	1.78	7.42	1.63	6.99	1.95	-0.15	2.28	-1.21	2.59	-4.56	4.07	9.17	16.46	-1.90	-1.95	0.06	3.26	0.27	2.74	19.15	34.80	39.72
15	210	0.43	3.48	4.78	4.79	5.26	5.88	-17.97	4.46	-15.55	4.31	-3.83	1.73	7.57	18.62	-0.07	-8.73	-0.28	0.69	-0.29	0.62	-19.94	35.84	41.01
16	225	0.99	6.70	1.08	4.88	3.39	7.09	-5.56	1.78	-12.12	2.29	-13.81	2.10	1.52	20.17	0.81	-4.94	1.40	-0.24	0.15	-0.12	-22.16	39.69	45.46
17	240	-0.52	6.43	0.16	2.14	1.50	4.34	-0.73	1.65	-1.00	1.26	-2.87	0.81	-2.69	20.17	3.07	-0.66	2.34	1.93	0.21	0.17	-0.54	38.24	38.25
18	255	-0.61	3.03	-0.22	-0.33	1.01	7.55	4.92	2.22	10.19	1.90	11.29	2.21	-6.86	14.97	1.07	3.06	2.00	2.27	0.54	2.06	23.33	38.95	45.40
19	270	1.10	-1.45	0.12	-3.99	-2.30	18.20	12.22	3.89	16.50	4.79	21.62	6.02	-6.87	7.54	-2.39	3.49	0.42	2.82	0.12	2.14	40.54	43.46	59.43
20	285	0.65	1.80	1.22	-0.20	-4.44	11.87	11.71	7.75	10.00	8.68	9.85	6.79	-7.80	2.59	-5.68	1.12	-4.64	0.95	0.63	1.79	11.50	43.14	44.65
21	300	-2.05	2.22	0.75	0.92	-9.47	13.90	11.51	10.79	4.18	7.76	3.32	5.04	0.58	-0.03	1.39	0.09	2.85	0.17	0.61	1.83	13.67	42.70	44.83
22	315	-0.15	2.28	-1.21	2.59	-4.56	4.07	9.17	16.46	-1.90	-1.95	0.06	3.26	3.06	1.78	7.42	1.63	6.99	1.95	0.27	2.74	19.15	34.80	39.72
23	330	-17.97	4.46	-15.55	4.31	-3.83	1.73	7.57	18.62	-0.07	-8.73	-0.28	0.69	0.43	3.48	4.78	4.79	5.26	5.88	-0.29	0.62	-19.94	35.84	41.01
24	345	-5.56	1.78	-12.12	2.29	-13.81	2.10	1.52	20.17	0.81	-4.94	1.40	-0.24	0.99	6.70	1.08	4.88	3.39	7.09	0.15	-0.12	-22.16	39.69	45.46
25	360	-0.73	1.65	-1.00	1.26	-2.87	0.81	-2.69	20.17	3.07	-0.66	2.34	1.93	-0.52	6.43	0.16	2.14	1.50	4.34	0.21	0.17	-0.54	38.24	38.25

LAMPIRAN P

Nilai gaya dari turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade* 3 pada kecepatan arus laut 1 m/s

No	Azimuth	Blade 11 (N)		Blade 12 (N)		Blade 13 (N)		Blade 21 (N)		Blade 22 (N)		Blade 23 (N)		Blade 31 (N)		Blade 32 (N)		Blade 33 (N)		Shaft (N)		Total (N)		Resultan (N)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Torsi
1	0	4.12	1.86	3.15	2.48	2.03	7.21	50.51	6.72	-1.64	-7.69	4.89	-5.86	16.07	1.33	5.41	-0.42	10.80	-3.70	0.47	-0.50	95.82	1.43	95.83
2	15	5.56	-12.30	6.26	-25.48	5.54	-28.28	37.45	17.08	7.63	-2.77	5.69	-5.06	7.62	1.51	-0.86	0.57	18.99	-2.57	5.15	-1.07	99.04	-58.37	114.96
3	30	9.77	-30.67	11.99	-41.30	15.05	-54.03	18.85	17.10	8.77	6.02	7.05	-1.22	-3.75	-2.80	-9.85	-0.28	45.45	5.74	5.29	0.07	108.61	-101.38	148.58
4	45	19.47	-29.34	21.74	-24.83	16.77	-24.41	6.44	19.34	2.79	14.14	2.35	11.41	4.56	-1.52	-0.34	-3.00	29.55	10.90	4.42	-1.27	107.76	-28.58	111.49
5	60	26.99	-28.83	19.36	-10.42	12.54	-8.30	-0.07	-1.51	0.22	-3.53	0.43	-7.18	5.54	5.20	2.27	-1.86	34.79	23.73	4.52	-1.31	106.58	-34.02	111.88
6	75	41.19	-22.94	-4.86	4.74	8.13	-0.17	4.50	-7.93	4.07	-18.55	4.89	-17.53	5.68	0.36	6.37	2.94	10.13	11.31	6.79	-0.35	86.88	-48.13	99.32
7	90	46.61	-18.99	-21.78	0.21	1.76	0.67	8.70	-1.05	11.98	-11.99	14.69	-13.09	11.17	44.98	10.77	38.88	4.28	9.45	1.51	0.86	89.68	49.95	102.65
8	105	50.47	-3.86	-12.36	-2.03	-0.59	-3.52	16.81	-2.50	12.21	-2.67	17.77	-8.48	4.45	13.94	5.72	30.26	5.27	34.57	-0.30	-0.38	99.45	55.33	113.81
9	120	50.51	6.72	-1.64	-7.69	4.89	-5.86	16.07	1.33	5.41	-0.42	10.80	-3.70	4.12	1.86	3.15	2.48	2.03	7.21	0.47	-0.50	95.82	1.43	95.83
10	135	37.45	17.08	7.63	-2.77	5.69	-5.06	7.62	1.51	-0.86	0.57	18.99	-2.57	5.56	-12.30	6.26	-25.48	5.54	-28.28	5.15	-1.07	99.04	-58.37	114.96
11	150	18.85	17.10	8.77	6.02	7.05	-1.22	-3.75	-2.80	-9.85	-0.28	45.45	5.74	9.77	-30.67	11.99	-41.30	15.05	-54.03	5.29	0.07	108.61	-101.38	148.58
12	165	6.44	19.34	2.79	14.14	2.35	11.41	4.56	-1.52	-0.34	-3.00	29.55	10.90	19.47	-29.34	21.74	-24.83	16.77	-24.41	4.42	-1.27	107.76	-28.58	111.49
13	180	-0.07	-1.51	0.22	-3.53	0.43	-7.18	5.54	5.20	2.27	-1.86	34.79	23.73	26.99	-28.83	19.36	-10.42	12.54	-8.30	4.52	-1.31	106.58	-34.02	111.88
14	195	4.50	-7.93	4.07	-18.55	4.89	-17.53	5.68	0.36	6.37	2.94	10.13	11.31	41.19	-22.94	-4.86	4.74	8.13	-0.17	6.79	-0.35	86.88	-48.13	99.32
15	210	8.70	-1.05	11.98	-11.99	14.69	-13.09	11.17	44.98	10.77	38.88	4.28	9.45	46.61	-18.99	-21.78	0.21	1.76	0.67	1.51	0.86	89.68	49.95	102.65
16	225	16.81	-2.50	12.21	-2.67	17.77	-8.48	4.45	13.94	5.72	30.26	5.27	34.57	50.47	-3.86	-12.36	-2.03	-0.59	-3.52	-0.30	-0.38	99.45	55.33	113.81
17	240	16.07	1.33	5.41	-0.42	10.80	-3.70	4.12	1.86	3.15	2.48	2.03	7.21	50.51	6.72	-1.64	-7.69	4.89	-5.86	0.47	-0.50	95.82	1.43	95.83
18	255	7.62	1.51	-0.86	0.57	18.99	-2.57	5.56	-12.30	6.26	-25.48	5.54	-28.28	37.45	17.08	7.63	-2.77	5.69	-5.06	5.15	-1.07	99.04	-58.37	114.96
19	270	-3.75	-2.80	-9.85	-0.28	45.45	5.74	9.77	-30.67	11.99	-41.30	15.05	-54.03	18.85	17.10	8.77	6.02	7.05	-1.22	5.29	0.07	108.61	-101.38	148.58
20	285	4.56	-1.52	-0.34	-3.00	29.55	10.90	19.47	-29.34	21.74	-24.83	16.77	-24.41	6.44	19.34	2.79	14.14	2.35	11.41	4.42	-1.27	107.76	-28.58	111.49
21	300	5.54	5.20	2.27	-1.86	34.79	23.73	26.99	-28.83	19.36	-10.42	12.54	-8.30	-0.07	-1.51	0.22	-3.53	0.43	-7.18	4.52	-1.31	106.58	-34.02	111.88
22	315	5.68	0.36	6.37	2.94	10.13	11.31	41.19	-22.94	-4.86	4.74	8.13	-0.17	4.50	-7.93	4.07	-18.55	4.89	-17.53	6.79	-0.35	86.88	-48.13	99.32
23	330	11.17	44.98	10.77	38.88	4.28	9.45	46.61	-18.99	-21.78	0.21	1.76	0.67	8.70	-1.05	11.98	-11.99	14.69	-13.09	1.51	0.86	89.68	49.95	102.65
24	345	4.45	13.94	5.72	30.26	5.27	34.57	50.47	-3.86	-12.36	-2.03	-0.59	-3.52	16.81	-2.50	12.21	-2.67	17.77	-8.48	-0.30	-0.38	99.45	55.33	113.81
25	360	4.12	1.86	3.15	2.48	2.03	7.21	50.51	6.72	-1.64	-7.69	4.89	-5.86	16.07	1.33	5.41	-0.42	10.80	-3.70	0.47	-0.50	95.82	1.43	95.83

LAMPIRAN Q

Nilai torsi dari turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade* 3 pada kecepatan arus laut 1,5 m/s

No	Azimuth	Blade 11 (N.m)		Blade 12 (N.m)		Blade 13 (N.m)		Blade 21 (N.m)		Blade 22 (N.m)		Blade 23 (N.m)		Blade 31 (N.m)		Blade 32 (N.m)		Blade 33 (N.m)		Shaft (N.m)		Total (N.m)		Resultan (N.m)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Torsi
1	0	-1.87	2.60	-3.08	2.01	-7.57	1.32	-5.39	46.62	7.83	-1.94	6.12	3.69	-2.28	14.65	-0.25	5.20	3.32	10.41	0.24	0.10	-2.93	84.65	84.70
2	15	12.27	4.01	24.31	5.15	25.48	4.62	-14.86	34.51	3.20	6.99	5.26	4.90	-2.18	7.11	-1.28	-0.80	1.81	17.47	1.25	4.54	55.26	88.51	104.34
3	30	31.66	7.68	40.38	10.76	50.64	13.95	-15.47	17.95	-3.73	7.98	1.23	6.64	1.60	-2.95	-1.36	-10.18	-5.45	41.18	0.00	4.93	99.49	97.95	139.61
4	45	31.05	15.14	27.30	20.24	26.85	16.61	-16.13	6.27	-12.81	2.75	-10.43	2.29	-0.21	3.90	2.52	-2.63	-11.85	29.42	1.09	4.05	37.39	98.02	104.91
5	60	28.32	22.96	12.38	19.02	9.47	12.35	0.95	0.19	2.52	0.34	5.57	0.45	-8.27	5.00	0.37	1.99	-21.90	30.85	0.94	4.07	30.36	97.22	101.86
6	75	22.55	37.83	-4.22	-5.93	0.92	8.59	9.28	4.78	15.30	3.64	14.51	4.39	-2.45	4.42	-2.58	4.75	-11.54	9.66	0.53	6.36	42.31	78.49	89.16
7	90	18.81	42.50	-0.11	-20.17	-0.36	1.88	-0.49	7.72	11.25	11.29	13.02	14.16	-45.27	10.00	-39.39	9.23	-9.34	3.08	-0.90	1.53	-52.80	81.22	96.87
8	105	4.38	46.10	2.12	-10.92	3.58	-1.32	0.60	14.38	1.74	11.37	7.17	16.23	-14.14	3.10	-29.94	4.70	-32.84	4.40	0.54	-0.11	-56.81	87.93	104.69
9	120	-5.39	46.62	7.83	-1.94	6.12	3.69	-2.28	14.65	-0.25	5.20	3.32	10.41	-1.87	2.60	-3.08	2.01	-7.57	1.32	0.24	0.10	-2.93	84.65	84.70
10	135	-14.86	34.51	3.20	6.99	5.26	4.90	-2.18	7.11	-1.28	-0.80	1.81	17.47	12.27	4.01	24.31	5.15	25.48	4.62	1.25	4.54	55.26	88.51	104.34
11	150	-15.47	17.95	-3.73	7.98	1.23	6.64	1.60	-2.95	-1.36	-10.18	-5.45	41.18	31.66	7.68	40.38	10.76	50.64	13.95	0.00	4.93	99.49	97.95	139.61
12	165	-16.13	6.27	-12.81	2.75	-10.43	2.29	-0.21	3.90	2.52	-2.63	-11.85	29.42	31.05	15.14	27.30	20.24	26.85	16.61	1.09	4.05	37.39	98.02	104.91
13	180	0.95	0.19	2.52	0.34	5.57	0.45	-8.27	5.00	0.37	1.99	-21.90	30.85	28.32	22.96	12.38	19.02	9.47	12.35	0.94	4.07	30.36	97.22	101.86
14	195	9.28	4.78	15.30	3.64	14.51	4.39	-2.45	4.42	-2.58	4.75	-11.54	9.66	22.55	37.83	-4.22	-5.93	0.92	8.59	0.53	6.36	42.31	78.49	89.16
15	210	-0.49	7.72	11.25	11.29	13.02	14.16	-45.27	10.00	-39.39	9.23	-9.34	3.08	18.81	42.50	-0.11	-20.17	-0.36	1.88	-0.90	1.53	-52.80	81.22	96.87
16	225	0.60	14.38	1.74	11.37	7.17	16.23	-14.14	3.10	-29.94	4.70	-32.84	4.40	4.38	46.10	2.12	-10.92	3.58	-1.32	0.54	-0.11	-56.81	87.93	104.69
17	240	-2.28	14.65	-0.25	5.20	3.32	10.41	-1.87	2.60	-3.08	2.01	-7.57	1.32	-5.39	46.62	7.83	-1.94	6.12	3.69	0.24	0.10	-2.93	84.65	84.70
18	255	-2.18	7.11	-1.28	-0.80	1.81	17.47	12.27	4.01	24.31	5.15	25.48	4.62	-14.86	34.51	3.20	6.99	5.26	4.90	1.25	4.54	55.26	88.51	104.34
19	270	1.60	-2.95	-1.36	-10.18	-5.45	41.18	31.66	7.68	40.38	10.76	50.64	13.95	-15.47	17.95	-3.73	7.98	1.23	6.64	0.00	4.93	99.49	97.95	139.61
20	285	-0.21	3.90	2.52	-2.63	-11.85	29.42	31.05	15.14	27.30	20.24	26.85	16.61	-16.13	6.27	-12.81	2.75	-10.43	2.29	1.09	4.05	37.39	98.02	104.91
21	300	-8.27	5.00	0.37	1.99	-21.90	30.85	28.32	22.96	12.38	19.02	9.47	12.35	0.95	0.19	2.52	0.34	5.57	0.45	0.94	4.07	30.36	97.22	101.86
22	315	-2.45	4.42	-2.58	4.75	-11.54	9.66	22.55	37.83	-4.22	-5.93	0.92	8.59	9.28	4.78	15.30	3.64	14.51	4.39	0.53	6.36	42.31	78.49	89.16
23	330	-45.27	10.00	-39.39	9.23	-9.34	3.08	18.81	42.50	-0.11	-20.17	-0.36	1.88	-0.49	7.72	11.25	11.29	13.02	14.16	-0.90	1.53	-52.80	81.22	96.87
24	345	-14.14	3.10	-29.94	4.70	-32.84	4.40	4.38	46.10	2.12	-10.92	3.58	-1.32	0.60	14.38	1.74	11.37	7.17	16.23	0.54	-0.11	-56.81	87.93	104.69
25	360	-1.87	2.60	-3.08	2.01	-7.57	1.32	-5.39	46.62	7.83	-1.94	6.12	3.69	-2.28	14.65	-0.25	5.20	3.32	10.41	0.24	0.10	-2.93	84.65	84.70

LAMPIRAN R

Nilai gaya dari turbin 9 *hydrofoil* dengan *cascade* 3 pada kecepatan arus laut 1,5 m/s

No	Azimuth	Blade 11 (N)		Blade 12 (N)		Blade 13 (N)		Blade 21 (N)		Blade 22 (N)		Blade 23 (N)		Blade 31 (N)		Blade 32 (N)		Blade 33 (N)		Shaft (N)		Total (N)		Resultan (N)
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Torsi
1	0	6.52	4.72	5.06	7.70	3.29	18.97	116.69	13.46	-4.83	-19.64	9.39	-15.30	36.61	5.74	13.11	0.57	25.93	-8.18	0.30	-0.58	212.08	7.46	212.21
2	15	10.04	-30.70	12.90	-60.81	11.57	-63.84	86.35	37.00	17.45	-8.18	12.34	-13.27	17.87	5.44	-2.14	3.25	43.92	-4.62	11.34	-2.52	221.63	-138.25	261.21
3	30	19.27	-79.33	26.96	-101.19	34.87	-126.58	44.85	38.46	20.03	9.42	16.57	-3.51	-7.73	-4.13	-25.17	3.35	102.83	13.62	12.18	0.83	244.68	-249.06	349.14
4	45	38.03	-77.78	50.75	-67.78	41.04	-66.48	15.62	39.90	6.84	31.83	5.66	25.61	9.85	0.79	-6.21	-6.17	73.35	29.24	9.98	-2.07	244.91	-92.91	261.94
5	60	57.46	-70.96	47.52	-30.98	30.80	-23.77	0.48	-2.51	0.85	-6.45	1.12	-14.04	12.50	20.95	4.92	-0.86	77.20	54.91	10.07	-1.87	242.91	-75.57	254.40
6	75	94.72	-56.53	-14.79	10.56	21.41	-2.38	12.13	-23.63	9.11	-38.23	11.01	-36.44	11.07	6.17	11.81	6.42	23.92	28.57	15.76	-0.50	196.15	-105.98	222.95
7	90	106.32	-47.18	-50.30	0.33	4.86	0.84	19.29	1.28	28.25	-28.20	35.42	-32.43	25.03	113.40	23.07	98.38	7.59	23.10	3.77	2.59	203.31	132.10	242.45
8	105	115.43	-11.04	-27.30	-5.32	-3.23	-8.98	36.12	-1.59	28.44	-4.27	40.64	-17.89	7.75	35.48	11.74	74.79	11.04	82.19	-0.27	-1.37	220.35	142.00	262.15
9	120	116.69	13.46	-4.83	-19.64	9.39	-15.30	36.61	5.74	13.11	0.57	25.93	-8.18	6.52	4.72	5.06	7.70	3.29	18.97	0.30	-0.58	212.08	7.46	212.21
10	135	86.35	37.00	17.45	-8.18	12.34	-13.27	17.87	5.44	-2.14	3.25	43.92	-4.62	10.04	-30.70	12.90	-60.81	11.57	-63.84	11.34	-2.52	221.63	-138.25	261.21
11	150	44.85	38.46	20.03	9.42	16.57	-3.51	-7.73	-4.13	-25.17	3.35	102.83	13.62	19.27	-79.33	26.96	-101.19	34.87	-126.58	12.18	0.83	244.68	-249.06	349.14
12	165	15.62	39.90	6.84	31.83	5.66	25.61	9.85	0.79	-6.21	-6.17	73.35	29.24	38.03	-77.78	50.75	-67.78	41.04	-66.48	9.98	-2.07	244.91	-92.91	261.94
13	180	0.48	-2.51	0.85	-6.45	1.12	-14.04	12.50	20.95	4.92	-0.86	77.20	54.91	57.46	-70.96	47.52	-30.98	30.80	-23.77	10.07	-1.87	242.91	-75.57	254.40
14	195	12.13	-23.63	9.11	-38.23	11.01	-36.44	11.07	6.17	11.81	6.42	23.92	28.57	94.72	-56.53	-14.79	10.56	21.41	-2.38	15.76	-0.50	196.15	-105.98	222.95
15	210	19.29	1.28	28.25	-28.20	35.42	-32.43	25.03	113.40	23.07	98.38	7.59	23.10	106.32	-47.18	-50.30	0.33	4.86	0.84	3.77	2.59	203.31	132.10	242.45
16	225	36.12	-1.59	28.44	-4.27	40.64	-17.89	7.75	35.48	11.74	74.79	11.04	82.19	115.43	-11.04	-27.30	-5.32	-3.23	-8.98	-0.27	-1.37	220.35	142.00	262.15
17	240	36.61	5.74	13.11	0.57	25.93	-8.18	6.52	4.72	5.06	7.70	3.29	18.97	116.69	13.46	-4.83	-19.64	9.39	-15.30	0.30	-0.58	212.08	7.46	212.21
18	255	17.87	5.44	-2.14	3.25	43.92	-4.62	10.04	-30.70	12.90	-60.81	11.57	-63.84	86.35	37.00	17.45	-8.18	12.34	-13.27	11.34	-2.52	221.63	-138.25	261.21
19	270	-7.73	-4.13	-25.17	3.35	102.83	13.62	19.27	-79.33	26.96	-101.19	34.87	-126.58	44.85	38.46	20.03	9.42	16.57	-3.51	12.18	0.83	244.68	-249.06	349.14
20	285	9.85	0.79	-6.21	-6.17	73.35	29.24	38.03	-77.78	50.75	-67.78	41.04	-66.48	15.62	39.90	6.84	31.83	5.66	25.61	9.98	-2.07	244.91	-92.91	261.94
21	300	12.50	20.95	4.92	-0.86	77.20	54.91	57.46	-70.96	47.52	-30.98	30.80	-23.77	0.48	-2.51	0.85	-6.45	1.12	-14.04	10.07	-1.87	242.91	-75.57	254.40
22	315	11.07	6.17	11.81	6.42	23.92	28.57	94.72	-56.53	-14.79	10.56	21.41	-2.38	12.13	-23.63	9.11	-38.23	11.01	-36.44	15.76	-0.50	196.15	-105.98	222.95
23	330	25.03	113.40	23.07	98.38	7.59	23.10	106.32	-47.18	-50.30	0.33	4.86	0.84	19.29	1.28	28.25	-28.20	35.42	-32.43	3.77	2.59	203.31	132.10	242.45
24	345	7.75	35.48	11.74	74.79	11.04	82.19	115.43	-11.04	-27.30	-5.32	-3.23	-8.98	36.12	-1.59	28.44	-4.27	40.64	-17.89	-0.27	-1.37	220.35	142.00	262.15
25	360	6.52	4.72	5.06	7.70	3.29	18.97	116.69	13.46	-4.83	-19.64	9.39	-15.30	36.61	5.74	13.11	0.57	25.93	-8.18	0.30	-0.58	212.08	7.46	212.21

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di kota Jakarta 13 Oktober 1993. Penulis menempuh pendidikan di SD Jaya Suti Abadi Tambun lulus tahun 2005, SMP-IT Al-Binaa *Islamic Boarding School* Bekasi lulus tahun 2008, dan SMAN 1 Bekasi lulus tahun 2011. Pendidikan sarjana ditempuh di Jurusan Teknik Fisika ITS. Selama aktif menjadi mahasiswa, penulis bergabung dalam organisasi kemahasiswaan HMTF selama periode 2012-2013 & 2013-2014

dalam bidang pengembangan sumber daya mahasiswa dan juga dalam organisasi ekstra kampus HMI SN (Himpunan Mahasiswa Islam Sepuluh Nopember) Cabang Surabaya periode 2013-2014 & 2014-2015 dalam bidang perguruan tinggi, kemahasiswaan dan kepemudaan serta menjadi Sekertaris Umum. Pengalaman *internship program* selama 1 bulan di PT Medco E&P Lematang dengan *project* studi kegagalan dengan menggunakan metode *fault tree analysis* pada unit *thermal oxidizier*. Bidang minat penulis adalah energi terbarukan, instrumentasi dan kontrol. Semoga dengan adanya buku ini penulis berharap agar penelitian ini dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya dan berdampak positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia. Penulis dapat dihubungi di email fahmi13oct@gmail.com